INTRODUCTION

I - BUT DE CES TRAVAUX PRATIQUES

Le principal but de ces séances de travaux pratiques est de familiariser l'étudiant à l'utilisation du microscope optique polarisant. Cet appareil est une technique de base qui permet d'étudier la structure et la texture d'une roche à l'échelle microscopique.

La roche est un agencement de minéraux, dont la détermination microscopique est basée sur les propriétés optiques caractéristiques. Cette étude permet entre autres, de classer l'échantillon parmi les grandes familles des roches : sédimentaires, métamorphiques, plutoniques ou volcaniques.

II - MICROSCOPE POLARISANT

Plusieurs ouvrages ont détaillé cette technique. Seulement le schéma va être présenté sur la figure 1.

Avant d'entamer toute étude optique, le microscope doit être bien réglé. Le réglage de l'appareil se fait en trois étapes : un bon éclairage, un centrage parfait et une polarisation complète de la lumière.

1- Eclairage homogène

On utilise ce réglage pour les microscopes munis d'un miroir. L'opération est simple, elle consiste à mettre une lame mince quelconque sur la platine. On oriente le miroir pour obtenir un cercle lumineux sur la lame mince visible à l'œil nu $\Rightarrow$ le microscope est réglé en "lumière naturelle".

2- Centrage

Le centrage du microscope est une opération délicate mais importante pour toute étude optique.

Pour un microscope décentré et au cours d'une rotation complète de la platine, un point se trouvant au centre de la croisée des fils de réticule va décrire un cercle complet (Fig. 1). Le principe est alors de réduire ce cercle en un point qui doit coïncider avec le centre du microscope:

- mettre une particule P à la croisée des fils des réticules et tourner la platine. Elle va décrire un cercle décentré, et elle va se retrouver au centre du champ d'observation, après un tour complet (Fig. 2a);

- avec les vis de centrage (soit de la platine, soit de l'objectif selon le type du microscope) ramener vers la croisée des fils des réticules, le centre C de ce cercle de la moitié du chemin PC (Fig. 2b);

- évidemment, la particule P va être déplacée de la même distance PC. La ramener manuellement à sa place initiale, c'est-à-dire à la croisée des fils (Fig. 2c);

- répéter les deux opérations précédentes jusqu'à la réduction du cercle en un point. A ce moment là, lorsqu'on fait tourner la platine, la particule ne bouge plus et la lame mince est centrée en cette particule (Fig. 2d).

DARRAGI /JAOUED M. FST-Géologie

3- Polarisation

- enlever la lame mince et mettre l'analyseur en place (trait horizontal);
- tourner la platine tout en observant à l'oculaire;
- si les nicols ne sont pas croisés, on observe progressivement un éclairement suivi d'une extinction;
- on fait tourner manuellement le polariseur jusqu'à l'extinction complète du champ d'observation. Cette extinction doit être conservée au cours de la rotation de la platine.

III - LAME MINCE

La lame mince est une lame de verre de 3 cm X 4 cm de dimension, sur laquelle est collée, avec du Baume de Canada, une pellicule de 0,03mm d'une roche, recouverte par une lamelle. La fabrication d'une telle lame passe par plusieurs étapes qu'on peut schématiser de la façon suivante (Fig. 3) :

- au laboratoire de lames minces, la roche à étudier est découpée avec une scie diamantée, en des parallélépipèdes rectangles appelés "sucres" de 3 cm X 2 cm X 0,5 cm de dimension;

- une face d'un "sucre" est polie avec une poudre d'abrasif (carbure de silice) de différents diamètres (35 µm ⇒ 12 µm ⇒ 5 µm) jusqu'à l'obtention d'une surface lisse et miroitante;

- la face d'une lame de verre est par contre dépolie par l'abrasif aussi. Elle devient rugueuse, ce qui permet l'adhérence parfaite du "sucre" avec la lame;

- avec une "rectifieuse", on gratte le "sucre" tranche par tranche jusqu'à ce que l'épaisseur de 0,5 cm soit réduite à environ 100 µm;

- on continue à réduire cette épaisseur manuellement avec de l'abrasif mélangé avec de l'eau sur une plaque de verre. On arrête le polissage jusqu'à 0,03 mm d'épaisseur. Ceci est contrôlé au microscope polarisant en se référant à un minéral connu. Le plus couramment utilisé est le quartz, qui au cours du polissage, passe en "lumière polarisée" de teintes vives (violet, rouge, jaune) au gris quand l'épaisseur de la roche est de 0,03 mm;

- la protection et la conservation de la lame se font en collant sur la préparation une lamelle en verre.

IV - CONCLUSION

Le matériel optique est onéreux. L'utilisateur doit tenir compte de l'importance de ce matériel et doit de ce fait contribuer à son entretien et à son bon fonctionnement. La lame mince, qui semble facile à fabriquer, revient aussi chère. Le passage d'une roche à une fine pellicule collée contre la lame demande du temps et des produits spécifiques, aussi leur étude demande une attention particulière.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

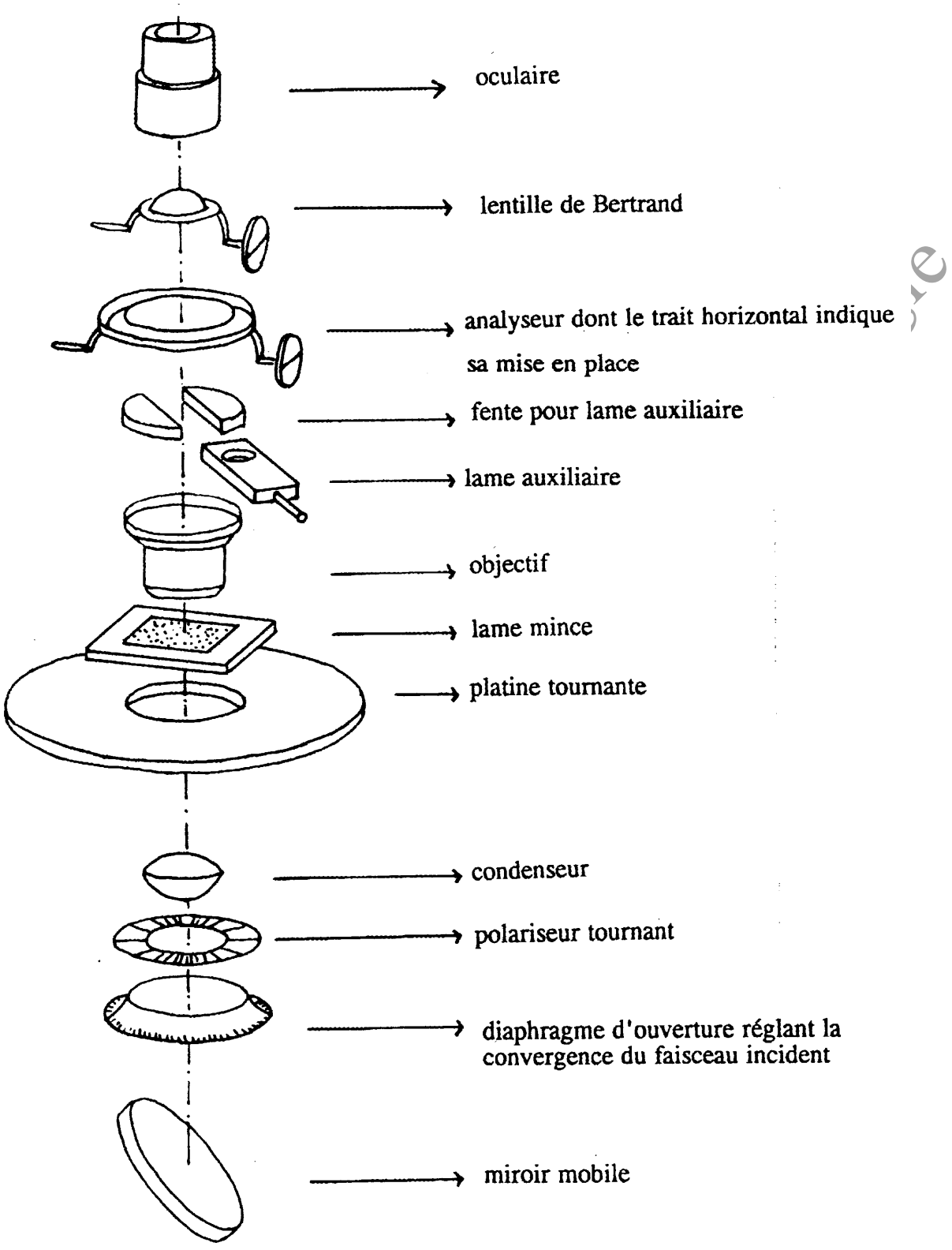


Fig. 1- Schéma du microscope polarisant à transmission

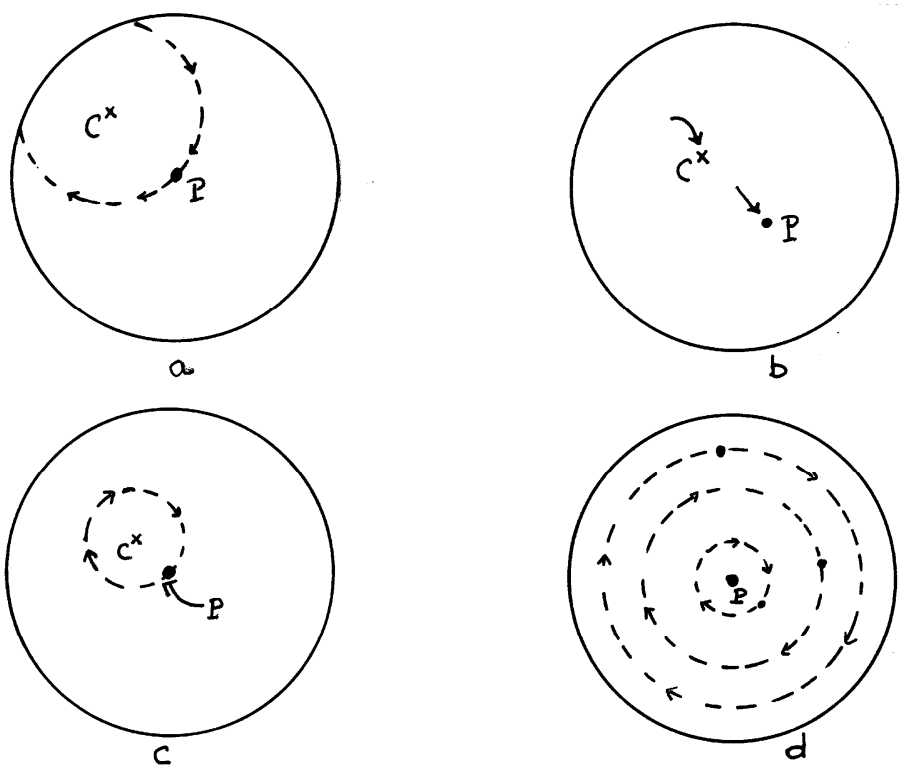


Fig. 2- Méthode de centrage du microscope.

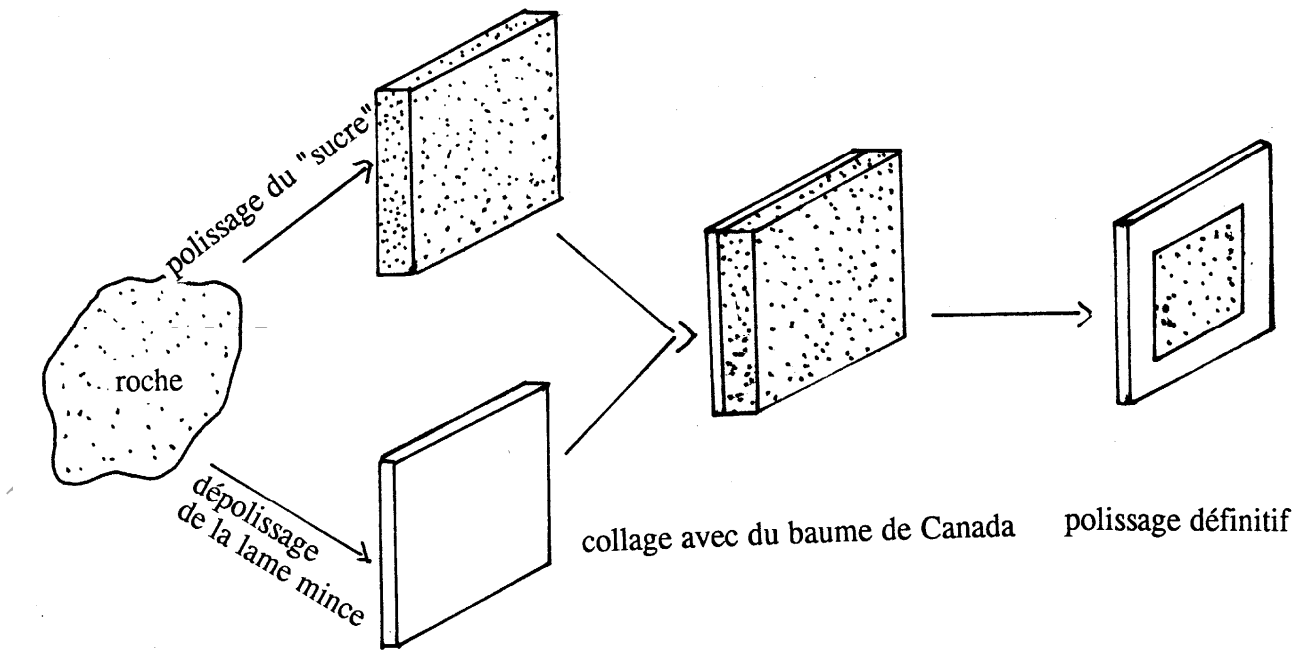
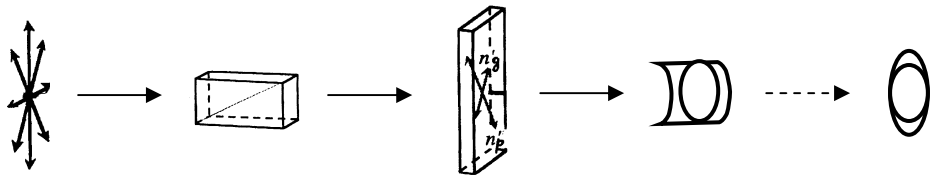


Fig. 3- Préparation d'une lame mince.

OBSERVATION DES MINERAUX TRANSPARENTS EN LUMIERE POLARISEE, NON ANALYSEE ET PARALLELE OU "LUMIERE NATURELLE" (LN)

Une lame mince est observée en lumière naturelle quand le nicol analyseur n'est pas interposé sur le trajet des rayons lumineux. Donc on aura :



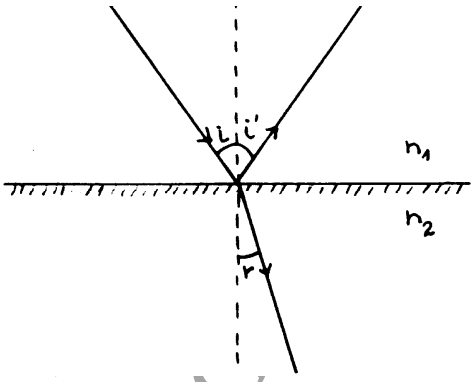
Source lumineuse — Polariseur — Lame mince — Objectif — Oculaire

L'examen en lumière naturelle permet de voir le relief des minéraux et d'apprécier les indices de réfraction, leur couleur, la forme, les clivages, les cassures, l'altération etc...

I - ETUDE DE LA REFRINGENCE DES MINERAUX

1- Rappels d'optique

A l'interface de deux milieux d'indices différents, un rayon lumineux subit une réflexion et une réfraction selon la loi de Descartes (Fig. 4) :



$i = i'$
$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

i = angle d'incidence
i' = angle de réflexion
r = angle de réfraction
n_1 = indice de réfraction du milieu 1
n_2 = indice de réfraction du milieu 2
avec n = C/V (C est la vitesse de la lumière dans le

Fig. 4 - Réflexion et réfraction de la lumière.

Le rayon incident, le rayon réfléchi, le rayon réfracté et la normale à l'interface sont dans le même plan.

2- Notion de relief

La réflexion totale et la réfraction se traduisent par le relief que prend un minéral dans un milieu déterminé.

L'indice de l'air est pris comme référence et est égal à 1. Un cristal de fluorine (n = 1,43) incolore, bien visible dans l'air, s'estompe beaucoup dans un bêcher d'eau (n = 1,33), alors que le cristal de quartz (n_g = 1,55 et n_p = 1,54) même parfaitement limpide, demeure bien visible.

De la même manière, les minéraux d'une lame mince apparaissent avec un certain relief, les uns par rapport aux autres, par rapport au Baume de Canada (n = 1,54).

La frange de Becke qui apparaît entre deux minéraux, ou deux milieux d'indices différents est fort utile pour déterminer lequel des deux milieux en contact, a l'indice le plus élevé (Fig. 5).

3- Frange de Becke

DARRAGI & JOUED M. FST-Géologie

C'est le liseré lumineux qui se forme sur le pourtour d'un minéral, observé avec :
- le polariseur sans l'analyseur, donc l'observation se fait en LN;
- le condenseur en position basse pour augmenter le relief au maximum.

On fait déplacer le liseré par le jeu des vis micrométriques en diminuant la distance lame mince - objectif. Le sens de déplacement dépend des indices des deux milieux.

R E G L E

a- Les deux indices sont très différents

Le liseré se déplace vers le milieu le moins réfringent quand la distance lame mince - objectif diminue (Fig. 5a).

b- Les deux indices sont très proches

Le relief s'estompe et la localisation du minéral ne peut être observée qu'en lumière polarisée. Il apparaît à la limite des deux milieux, deux franges colorées : rouge du côté du corps le moins réfringent et bleu du côté le plus réfringen. Quand on détruit la mise en point, les deux franges s'éloignent l'une de l'autre (Fig. 5b).

4- Mode d'emploi

- localiser la limite entre deux milieux différents (minéral - minéral ou minéral - Baume de Canada);
- changer au plus fort grossissement et faire la mise au point;
- abaisser le condenseur;
- tourner les vis micrométriques dans le sens de la diminution de la distance lame mince-objectif;
- observer le déplacement de la frange de Becke;
- comparer les indices des deux milieux.

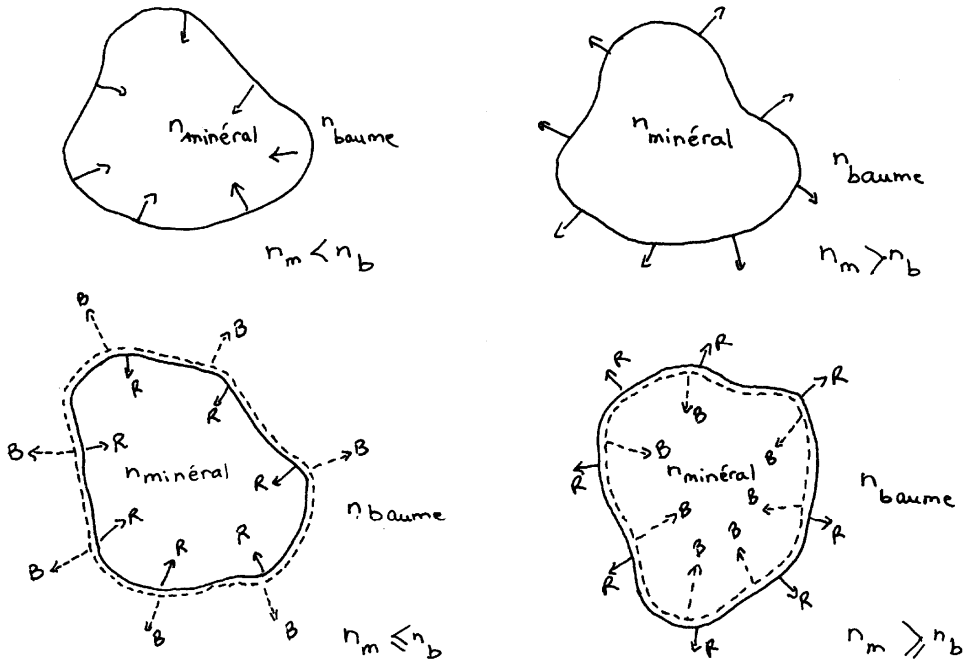


Fig. 5 - Déplacement du liseré de Becke lorsque la distance objectif-lame est diminuée.

5- Appréciation du relief

DA JAOUED M. FST-Géologie

La frange de Becke est utilisée pour des déterminations précises. On va surtout en avoir besoin pour l'étude des plagioclases. Pour des observations courantes, on utilise les termes relief fort, moyen ou faible :

- ***relief fort*** : le contour de la section semble foncé et le minéral est bien visible par rapport aux minéraux voisins, même s'il est incolore;

- ***relief moyen*** : la limite reste visible mais de moindre intensité que pour le 1er cas. Parfois la couleur propre du minéral fausse le diagnostic, exemple la biotite dont le relief semble fort. Dans ce cas, il faut tourner la platine jusqu'à ce que le minéral soit de couleur claire et c'est à ce moment là qu'il faut apprécier le relief.

- ***relief faible*** : la limite est invisible en lumière naturelle si le minéral est incolore. Il faut passer, dans ce cas en lumière polarisée pour distinguer les différentes sections; exemple le quartz.

II - COULEUR DES MINERAUX - NOTION DE PLEOCHROISME

Les minéraux transparents sont soient incolores, soient colorés.
Les minéraux colorés se comportent différemment au cours de la rotation de la platine.
Pour certains la couleur reste constante, pour d'autres elles changent d'une couleur foncée à très claire. On appelle ce phénomène le pléochroïsme.

Le pléochroïsme d'un minéral se définit par sa couleur et son intensité suivant les directions des indices principaux déterminés en LP.

1- Minéraux cubiques

Les minéraux cubiques ne peuvent pas être pléochroïques en raison de leur isotropie.

2- Minéraux uniaxes

Ces minéraux sont caractérisés par deux indices principaux: indice extraordinaire n_e et indice ordinaire n_o = ils sont ***dichroïques.*** ex : la tourmaline
- couleur claire suivant n'_p
- couleur foncée suivant n'_g

Remarque: les sections perpendiculaires à l'axe optique ne présentent pas de pléochroïsme

3- Minéraux biaxes

Ces minéraux ont trois indices principaux: indice grand n_g, indice moyen nm et indice petit n_p = ils sont trichroïques, ex : la hornblende
- vert très foncé suivant n'_g
- vert foncé suivant n'_m
- vert clair suivant n'_p

Pour étudier le pléochroïsme d'une section il faut :

- repérer les positions des couleurs les plus intenses et les moins intenses par rapport aux fils des réticules. Puisqu'on travaille en LN on s'intéresse seulement à la direction de vibration du polariseur P, qui est par convention suivant nord-sud;
- si la teinte la plus foncée, qui correspond à ng, est parallèle à P ou faisant un angle < 45°, on dit que le pléochroïsme est direct, ex : la hornblende;

DARRAGI/JAOUED M. FST-Géologie

- si la teinte foncée est perpendiculaire à P ou lui faisant un angle > 45°, on dit que le pléochroïsme est inverse, ex : la tourmaline.

R E M A R Q U E S

Cette étude demande une connaissance préalable de la détermination des directions principales n'g et n'p du minéral, faite seulement en LP. En plus, la direction de vibration du polariseur P qui doit être suivant nord - sud n'est pas respectée par tous les constructeurs des microscopes. Donc on doit procéder de la façon suivante pour les minéraux colorés :

Tourner la platine et observer :
- si la couleur du minéral ne change pas d'intensité ⇒ pas de pléochroïsme
- si la couleur change faiblement d'intensité ⇒ pléochroïsme faible ou moyen
- si par contre la couleur change d'incolore ou faiblement colorée à plus foncée ⇒ ***pléochroïsme intense***.

III - CLIVAGES

Le clivage est la tendance d'un minéral à se séparer suivant certains plans de discontinuités du réseau cristallin où les forces de liaison sont les plus faibles (Fig. 6).

1- Clivage selon une seule direction

C'est le cas typique des micas (muscovite et biotite) (Fig. 6). Ils ont un clivage parfait parallèle au plan (001).

En lame mince deux cas se présentent :

- si la coupe est perpendiculaire au plan de clivage, on voit des traits parallèles très fins
- si la coupe est parallèle au plan de clivage, on a alors un feuillet du minéral déposé contre la lame. La section ne présente pas de traits parallèles, ni de pléochroïsme.

2- Clivage selon deux directions

- si la coupe est parallèle à un plan de clivage (Fig. 6), on observe des traits parallèles;
- si la coupe est par contre perpendiculaire aux plans de clivage, on voit au microscope un réseau ou un quadrillage. L'angle entre les deux lignes qui forment le réseau permet de différencier les pyroxènes (87°) des amphiboles (124°).

3- Clivage à trois directions

L'exemple type est celui de la calcite. La coupe observée en lame mince montre 2 à 3 plans de clivage qui forment un réseau losangique (Fig. 6).

IV - AUTRES CARACTERES OBSERVES EN "LUMIERE NATURELLE"

1- Forme

C'est l'aspect géométrique que présente la section de certains minéraux. La forme peut être un critère de détermination au microscope optique (Fig. 7).

Exemples :

DARRAGI/JAOUED M. FST-Géologie

pyroxène : la section perpendiculaire aux plans de clivage (réseau à 87°) est octogonale;
amphibole : la section perpendiculaire aux plans de clivage (réseau à 124°) est hexagonale;
quartz : la section perpendiculaire à l'allongement du minéral est hexagonale avec absence de plans de clivage; etc.

2- Inclusions

Les inclusions sont nombreuses et variées, tant par leur forme que par leur nature (solide, liquide ou gazeuse). Leur étude permet d'apprécier la température critique des solutions mères et des conditions physiques au moment de la cristallisation; ex: inclusions de zircon (avec halo), de rutile (en aiguille) et d'apatite dans les biotites.

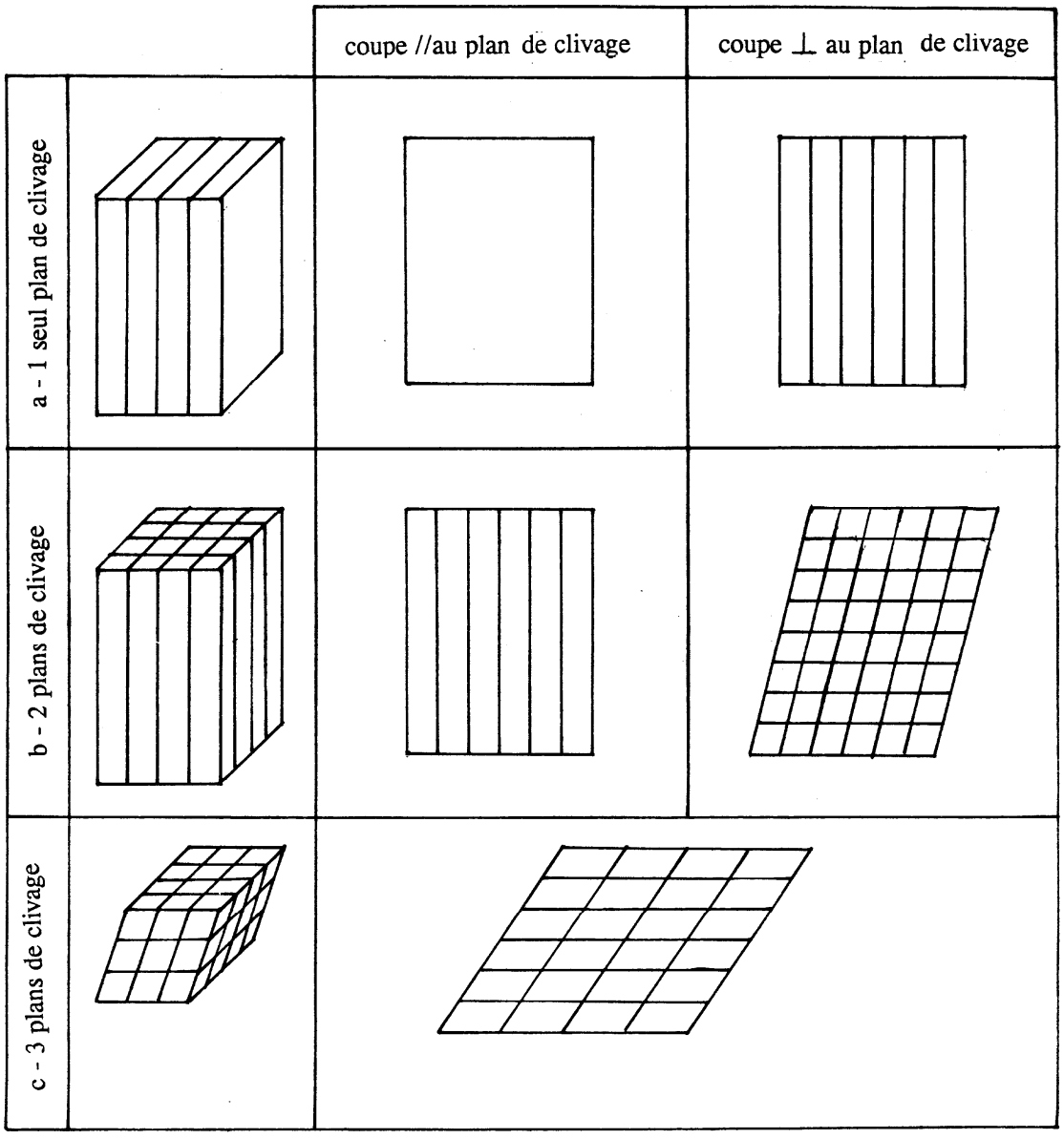
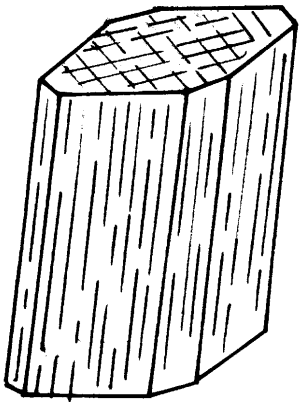
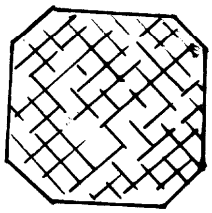
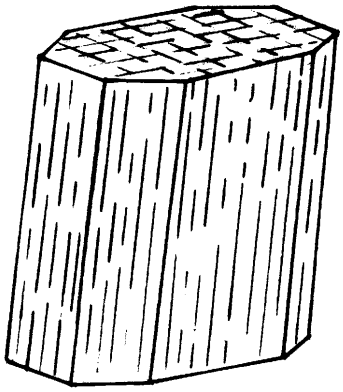


Fig. 6 – Clivage.

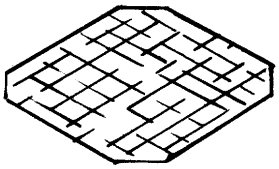


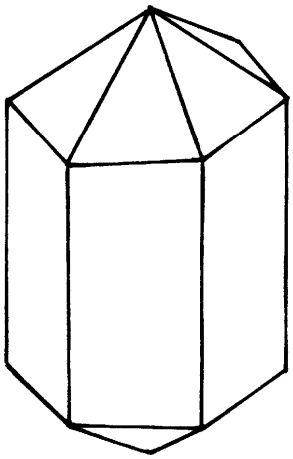
pyroxène





amphibole





quartz

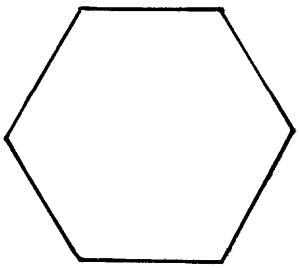
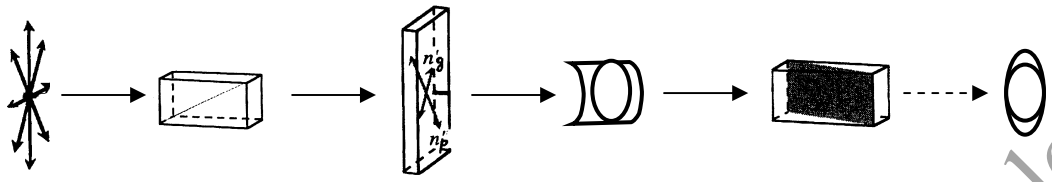


Fig. 7 – Forme.

OBSERVATION DES MINERAUX TRANSPARENTS EN LUMIERE POLARISEE, ANALYSEE ET PARALLELE OU "LUMIERE POLARISEE" (LP)

Une lame mince est observée en lumière polarisée et analysée quand on ajoute au dispositif un autre nicol = c'est l'analyseur.



Source lumineuse — Polariseur — Lame mince — Objectif — Analyseur — Oculaire

I- RAPPELS D'OPTIQUE CRISTALLINE

1- Vibrations lumineuses - Généralités

La vibration lumineuse est une vibration sinusoïdale de la forme

$s = a\cos\omega$ avec s = élongation
a = amplitude
ω = pulsation ou fréquence angulaire de période $T = 2\pi/\omega$

Lorsque cette vibration se propage dans un milieu d'indice n, en un point M situé à la distance z de l'origine O, elle sera de la forme:

$s = a\cos(\omega t - \rho)$ avec $\rho = (2\pi/\lambda).\delta$ = déphasage
$= nz$ = chemin optique

L'intensité de la vibration $I = a^2$

2- Propagation de la lumière dans les milieux transparents

La propagation de la lumière dans les milieux transparents fait intervenir 3 surfaces particulières: ellipsoïde des indices (E.I), surface des indices (S.I) et surface d'onde (5.0).

a- Ellipsoïde des indices

C'est la surface obtenue en portant d'une origine donnée, et dans la direction correspondant la direction de vibration, une longueur égale à l'indice n = C/V. On distingue 3 types l'ellipsoïdes des indices:

***** un seul indice **n**, la forme de l'EI est une sphère.

La section principale est toujours circulaire. Il y'a une infinité de sections cycliques donc ne infinité d'axes optiques (A.O).

A.O ***est par définition l'axe perpendiculaire à une section cyclique***

Les minéraux qui ont une sphère comme type d'EI sont les corps cubiques et les corps amorphes (liquide, gaz, etc...).

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

***** deux indices différents $\mathbf{n_g}$ et $\mathbf{n_p}$, la forme de l'EI est un ellipsoïde de révolution (Fig. 8).

Toutes les sections principales sont des ellipses sauf une qui est équatoriale qui a la forme d'un cercle, donc il y'a un seul AO ⇒ **Uniaxe**:

Si l'AO est parallèle à n_g ⇒ U^+ ex : le quartz
Si l'AO est parallèle a n_p ⇒ U^- ex : la calcite

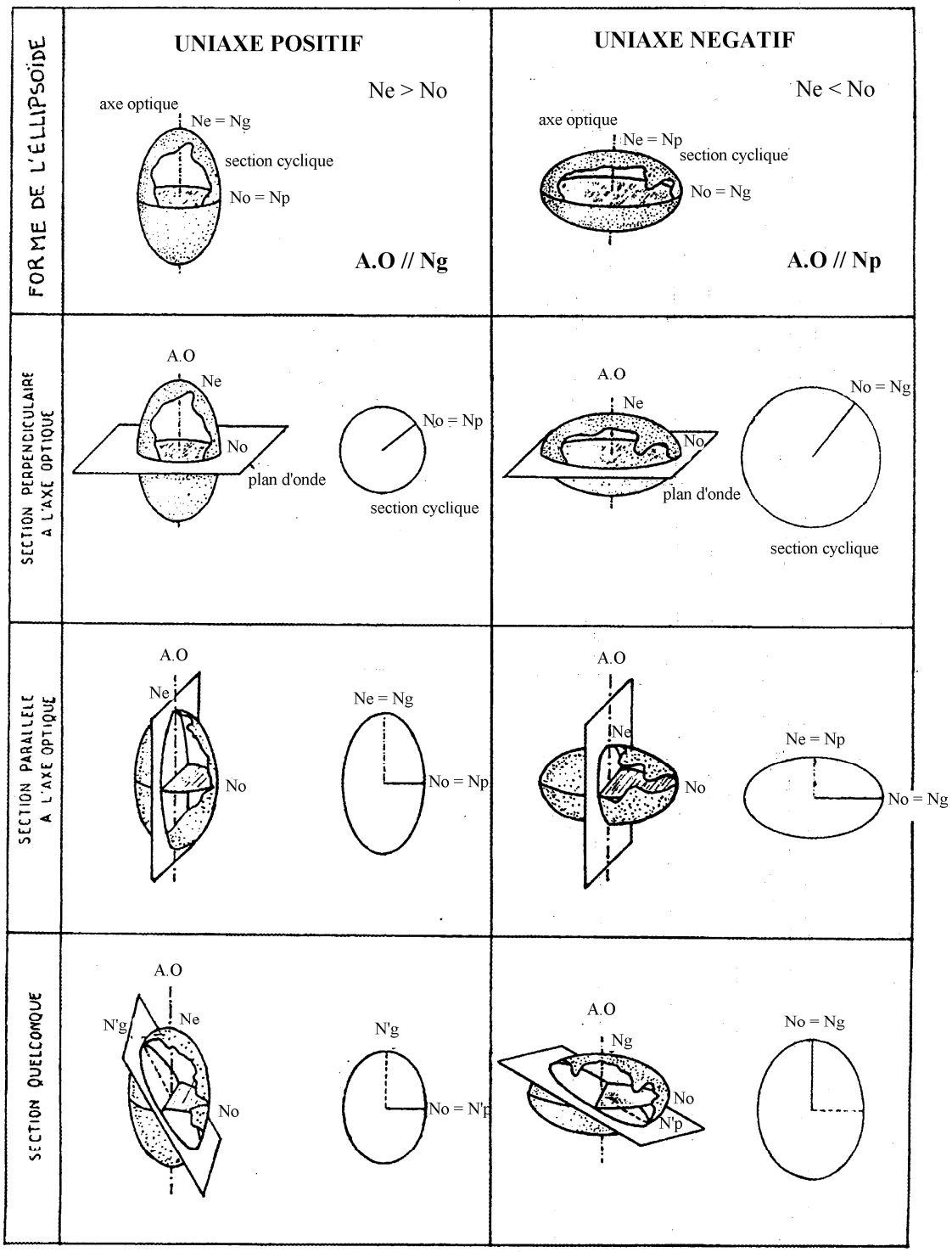


Fig. 8 – Ellipsoïdes des indices des uniaxes.

Les systèmes cristallins qui ont ce type d'ellipsoïde sont le quadratique, le rhomboédrique et l'hexagonal.

***** trois indices différents n_g, n_p et n_m et la forme de l'EI est un ellipsoïde quelconque (Fig. 9).

Toutes les sections principales sont des ellipses sauf deux qui sont cycliques et symétriques par rapport à une bissectrice $\Rightarrow$ **Biaxe** :

Si la bissectrice des AO est parallèle à n_g $\Rightarrow B^+$
Si la bissectrice des AO est parallèle à n_p $\Rightarrow B^-$

Les systèmes cristallins qui ont ce type d'EI sont l'orthorhombique, le monoclinique et le triclinique.

b- Surface des indices

L'EI donne pour n'importe quelle direction du plan d'onde les directions de vibrations et les indices n et n qui lui sont associés. Mais elle ne permet pas de connaître les directions de propagation des ondes. Pour cela on construit la SI.

Soit un EI coupée par un plan d'onde (Fig. 10) l'ellipse d'intersection a pour demi-axes OM et OM'. On porte ces 2 longueurs sur ON, la perpendiculaire à $\sum$. Lorsque $\sum$ prend toutes les directions possibles, les lieux M et M' sont une surface à 2 nappes $\Rightarrow$ c'est ***la surface des indices***.
Les figure 11 et 12 présentent simultanément les SI des uniaxes et des biaxes.

Sur chaque axe on reporte les valeurs des indices limites. La SI se compose de deux nappes qui se coupent en 4 points C = ***ombilics***. L'AO est la droite OC.

c- Surface d'onde

C'est la surface la plus utile car elle permet la construction des ondes réfractées. Elle s'obtient à partir de la SI par une transformation polaire réciproque.

$$V = C/n \qquad C = Cste \quad donc \qquad V = 1/n$$

Les figures 13 et 14 représentent les SO des uniaxes et des biaxes.

3- Monoréfrigence et biréfringence

a- *Monoréfringence*

Ce sont les corps qui sont caractérisés par une SO sphérique, donc ils possèdent un seul indice de réfraction, ce qui implique un seul rayon réfracté suivant la loi de Descartes : ce sont des corps monoréfringents ou isotropes.

b- Biréfringence

- La SO pour les corps uniaxes est formée par deux nappes: une nappe ordinaire sphérique et une nappe extraordinaire elliptique. Donc un rayon incident va se dédoubler dans ces corps en rayon ordinaire, qui obéit aux lois de Descartes, et en rayon extraordinaire qui les refusent. Les deux rayons ont la même intensité lumineuse, mais de directions différentes. Les deux rayons vibrent dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre. On dit qu'ils sont polarisés.

- Pour les biaxes, on obtient aussi deux rayons réfractés, mais tous les deux sont extraordinaires, car ils n'obéissent pas aux lois de Descartes. ils ont la même propriété que précédemment c'est-à-dire polarisés dans des plans perpendiculaires l'un à l'autre.

DARRAGI / JAOUED M. FST-Géologie

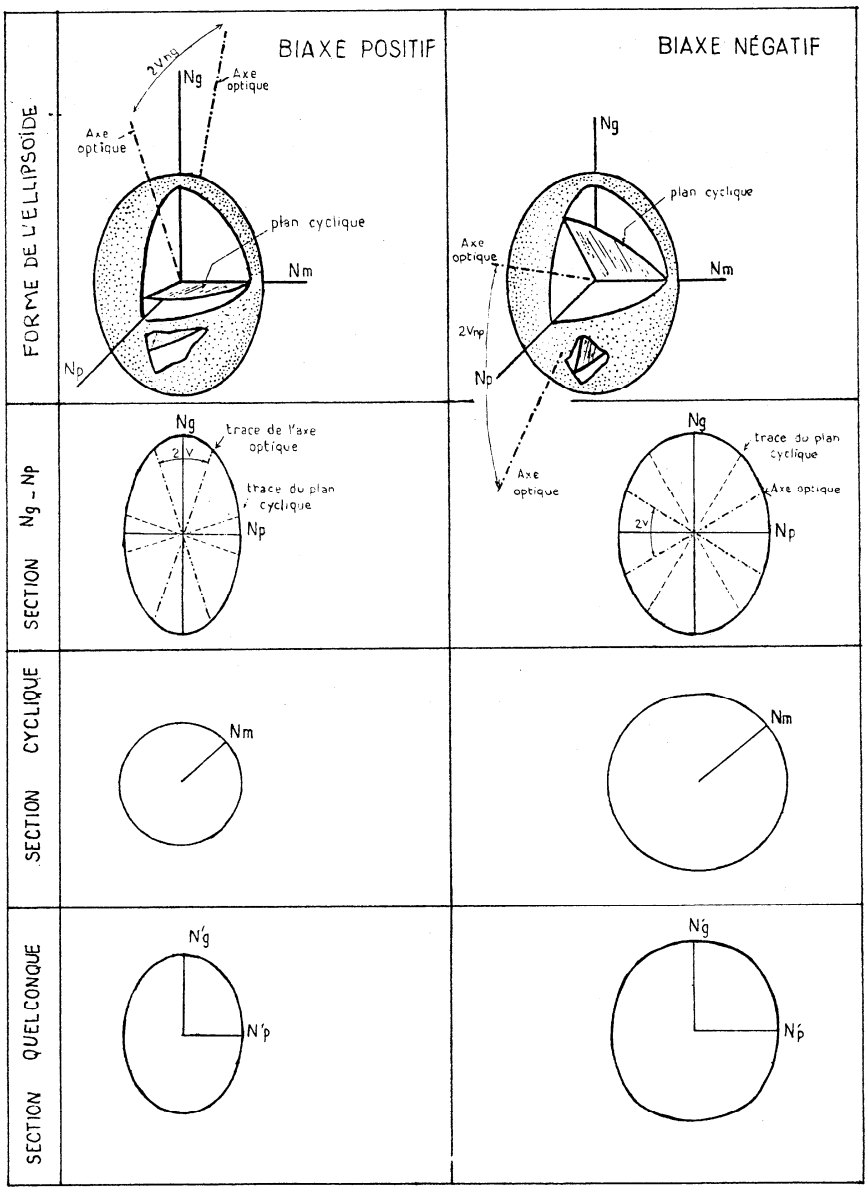


Fig. 9– Ellipsoïdes des indices des biaxes.

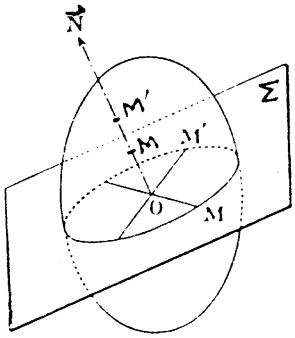


Fig. 10– Surface des indices.

DARRAGI ologie

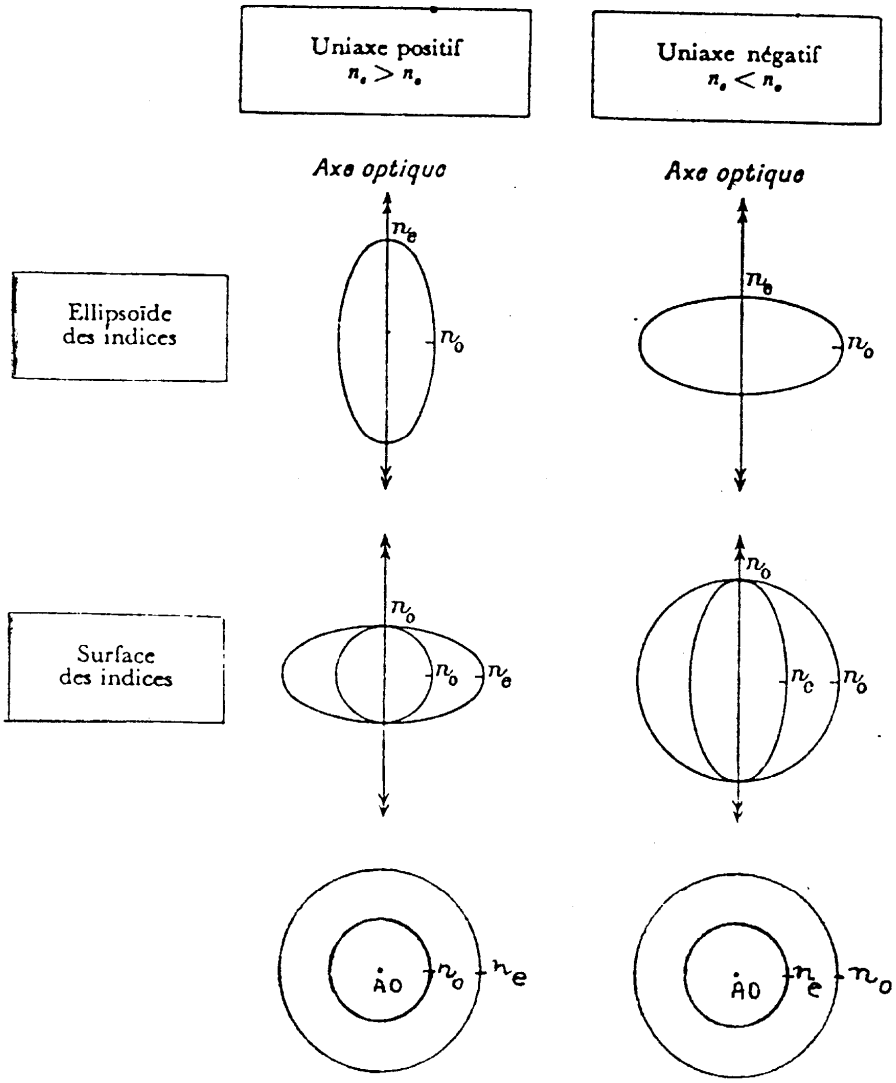


Fig. 11– Surface des indices des uniaxes.

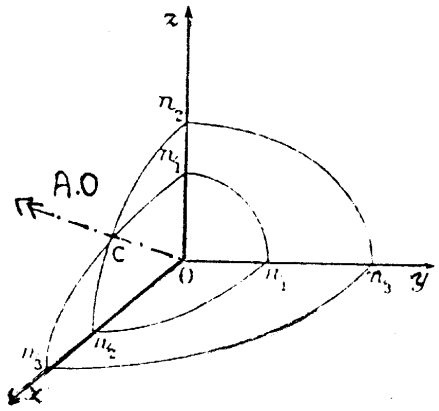


Fig. 12– Surface des indices des biaxes.

DARRAGI F. / Géologie

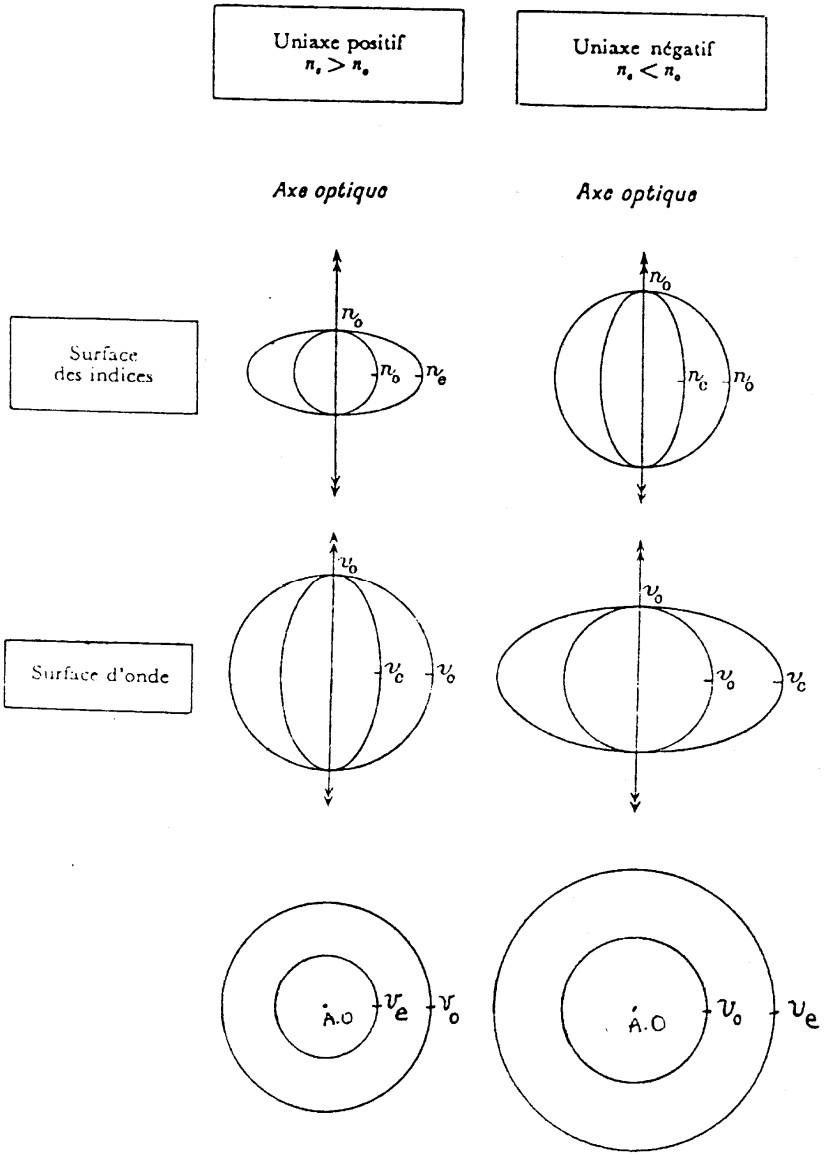


Fig. 13– Surface d'onde des uniaxes.

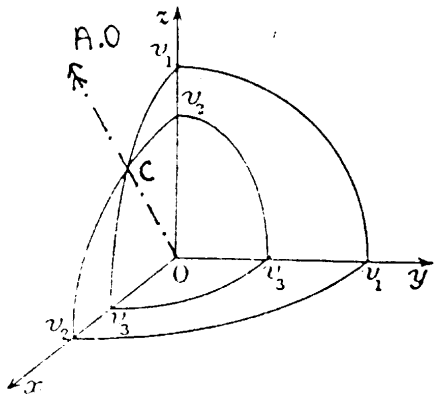


Fig. 14– Surface d'onde des biaxes.

DARRAGI F Géologie

Donc, les corps U et les corps B dédoublent un rayon incident ⇒ ce sont des corps biréfringents ou anisotropes.

La plupart des minéraux présentent une faible différence entre n_g et n_p donc les rayons réfractés ne sont pas fortement déviés. La calcite est parmi les minéraux qui présente une forte biréfringence. NICOL a utilisé cette propriété de la calcite pour fabriquer les polaroïds selon le principe suivant:

Un cristal de calcite a été scié puis recollé (Fig. 15*).* Avec un tel système, un rayon incident se dédouble dans le milieu 1. Le rayon ordinaire, qui a une vitesse $V_0 = 1/n = 1/1{,}65$*;* va être dévié à la surface de recollement et se perdre; alors que le rayon extraordinaire, qui est plus rapide avec $V = 1/n_e = 1/1{,}48$; va passer dans le milieu 2. C'est le système de polaroïds, qui ont la propriété de faire passer de la lumière à une seule direction de vibration.

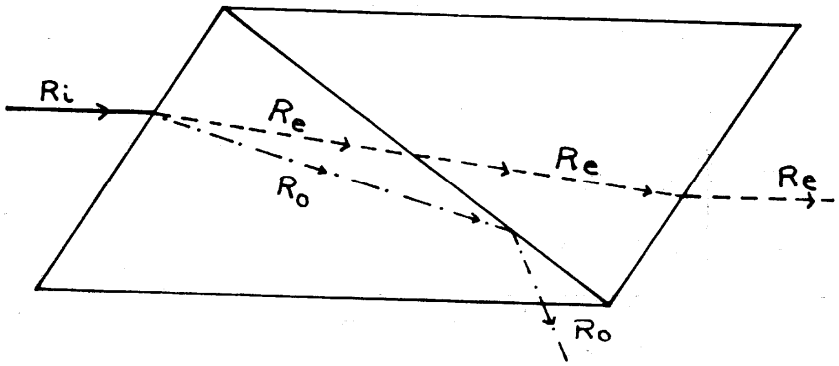


Fig. 15 - Prismes de Nicol.

II- OBSERVATION EN LUMLERE POLARISEE ET ANALYSEE

1- Devenir de la lumière monochromatique au microscope

a- En traversant le polariseur (Pol) (Fig. 16), un rayon lumineux va vibrer selon est celle du polariseur (puisque le rayon ordinaire a été éliminé).

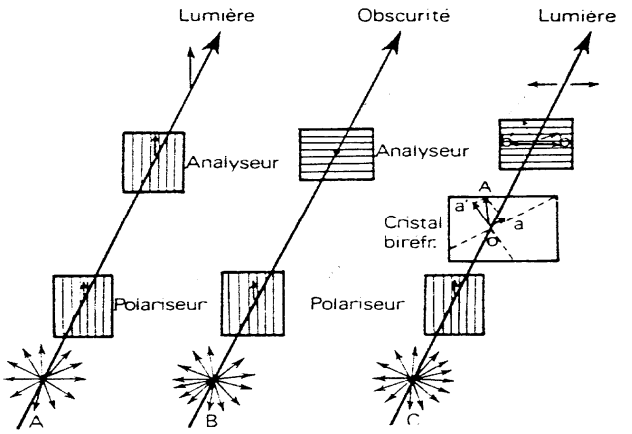
b- En ajoutant un autre polariseur appelé analyseur (An), ayant une direction privilégiée perpendiculaire à celle du polariseur, le rayon est arrêté. On dit que Pol et An sont croisés et il y'a une extinction.

c- Ajoutons une lame mince contenant la section d'un seul minéral. Deux cas se présentent:

* ***la section est isotrope***. La direction de vibration n'est pas modifiée, et la section reste toujours éteinte, lorsqu'on tourne la platine;

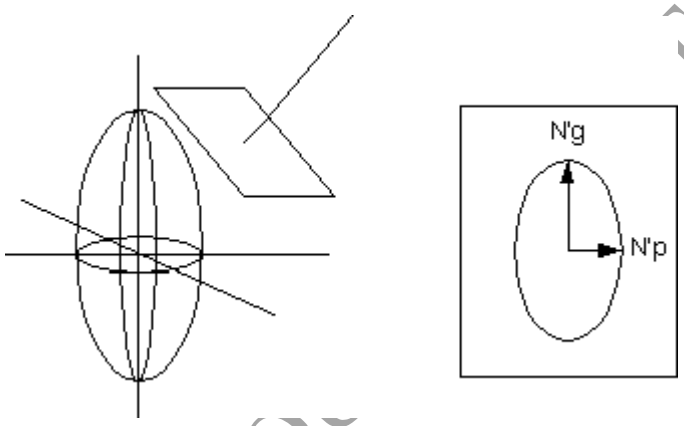
* **la *section est anisotrope.*** Le minéral doit avoir soit une EI de révolution ou une El quelconque (Fig. 17). Dans les deux cas, la section du minéral va couper l'EI; et le plan d'intersection est une ellipse à 2 axes n'_g et n'_p qui sont des indices variant entre n_g et n_p de 1'EI. Donc la lumière va être rétablie quand une lame cristalline est interposée entre Pol et An.

DARRAGI F./JAOUED Géologie



Considérons les directions de vibration de polariseur et de l'analyseur: Si elles sont parallèles (fig. A), la lumière traverse l'analyseur sans autre modification et l'œil perçoit la sensation de lumière. Mais si elles sont perpendiculaires (fig. B). l'analyseur arrête totalement les seules composantes que le polariseur avait laissé passer, de sorte que pour l'œil, il v a obscurité totale. L'appareil simplifié nous permet. en faisant tourner l'analyseur progressivement, de passer de la position éclairée à la position éteinte de manière spectaculaire. Revenons maintenant à la position éteinte et interposons entre le polariseur et l'analyseur, perpendiculairement aux rayons lumineux, une lame mince à faces parallèles taillée dans le minéral ou la roche à étudier. Si le minéral est isotrope. rien n'est changé et le champ reste obscur. Mais s'il est anisotrope. la vibration incidente OA est. en général. décomposée en deux composantes Oa et Oa' (fig. C). se propageant suivant la même direction. puisque l'incidence est normale, mais à des vitesses différentes, impliquant deux indices Ng' et Np' différents. De plus elles vibrent à angle droit. Enfin l'orientation de leurs deux directions de vibration Oa et Oa' est liée à la structure de l'édifice cristallin.

Fig. 16- Schéma du système polarisant.



Ellipse d'intersection

Fig. 17- Section quelconque d'un Ellipsoïde des Indices (EI).

Donc le devenir de la lumière monochromatique dans le système est le suivant (Fig. 18):

source $\Rightarrow$ Pol $\underset{OP}{\Rightarrow}$ minéral anisotrope $\underset{x_p \text{ et } y_p}{\Rightarrow}$ An $\underset{OA}{\Rightarrow}$ observateur

- Entre la source et le polariseur Pol, la lumière monochromatique vibre dans toutes et le vecteur vibration reste toujours perpendiculaire à la direction.

- A la sortie du Pol, on ne va avoir qu'un seul rayon de vibration OP (voir le principe de fabrication du polariseur), parallèle au plan de vibration du Pol.

$OP = a\cos\omega t$ avec a = amplitude
ω = pulsation = $2\pi/T$
t = temps

- A la sortie du minéral anisotrope caractérisé par les indices n'_g et n'_p, OP va se décomposer en deux rayons ordinaires x_p et extraordinaire y_p.

DARRAGI F./JAOUED M.-Géologie

x_p = **OPcosα = acosα.cosωt**
y_p = **OPsinα = asinα.cos(ωt - ρ)** car la vitesse de cette vibration est moins rapide,

avec un déphasage $\rho = (2\pi/\lambda).\delta$
$\delta = (n'_g - n'_p)e$ = différence de marche
$n'_g - n'_p$ = biréfringence
e = épaisseur de la lame

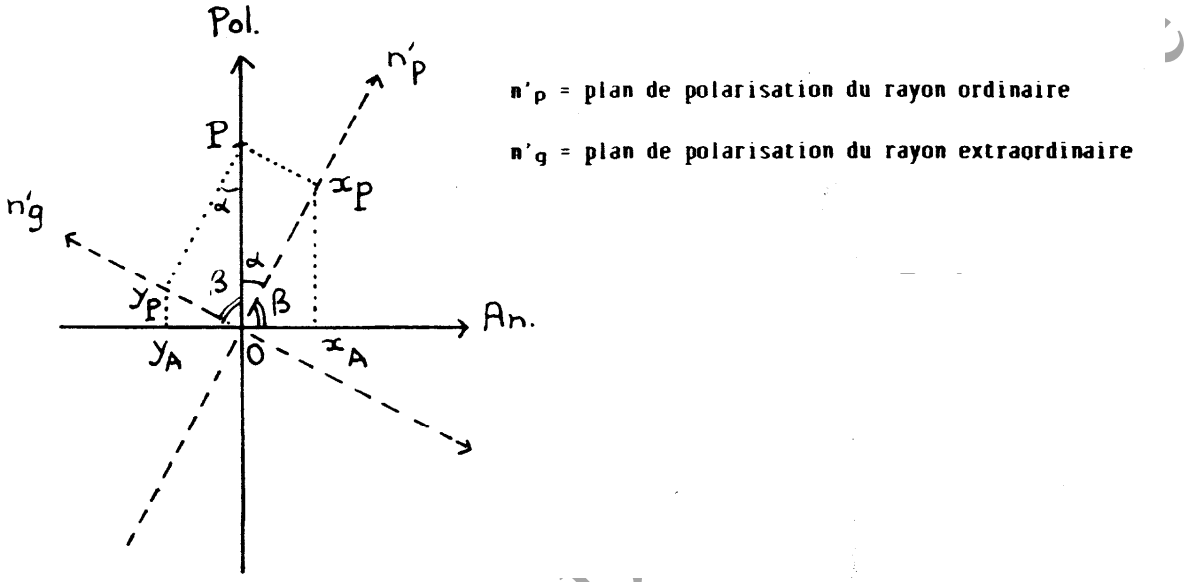


Fig. 18 - Schéma du devenir de la lumière monochromatique dans le système polarisant.

- A la sortie de l'analyseur, qui est caractérisé par un seul plan de vibration OA, x_p et y_p vont être projetés sur OA (Fig. 18).

$x_A = x_p \cos\beta = a\cos\alpha.\cos\beta.\cos\omega t$
$y_A = y_p \sin\beta = a\sin\alpha.\sin\beta.\cos(\omega t - \rho)$

$OA = x_A - y_A = a[A\cos\omega t + B\sin\omega t]$

L'intensité est proportionnelle à l'amplitude

$I = a^2 [A^2 + B^2]$ avec $A^2 = \cos^2(\alpha + \beta) = 0$ car $(\alpha + \beta) = 90$

$B^2 = \sin^2 2\alpha.\sin^2\rho/2$

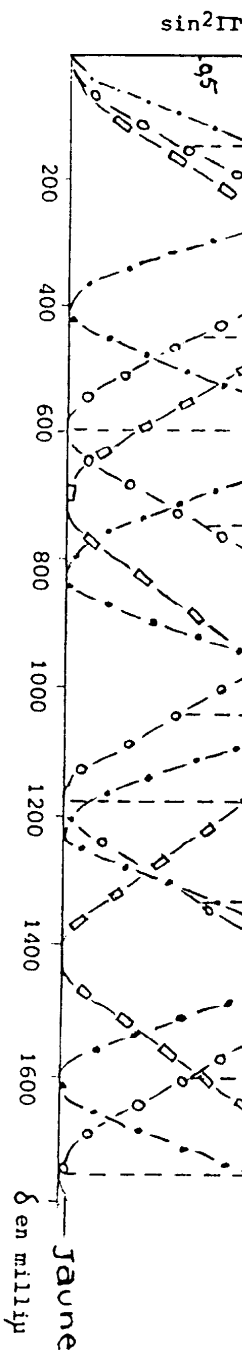
Donc **$I = I_0 \sin^2 2\alpha.\sin^2\rho/2$**

2- Devenir de la lumière polychromatique (lumière blanche) au microscope

a- *Polarisation polychromatique*

C'est la lumière utilisée couramment, ç-à-d $4000Å < \lambda < 8000$ Å. Les interférences entre les différentes longueurs d'onde font éteindre certaines couleurs dont les complémentaires apparaissent, ex : Jaune + Bleu = Vert; si le J est éteint, c'est le bleu qui est transmis (Fig. 19). Ce phénomène dépend de la valeur de la différence de marche $\delta = (n'_g - n'_p)e$, c'est à dire en fonction de l'épaisseur e de la lame et de la différence entre les indices du minéral qui est la ***biréfringence***.

DARRAGI F./JAOUED



λ_J	variation des intensités			teintes observées		ordre
	bleu	jaune	rouge	pol // ana	pol ⊥ ana	
0	0	0	0	blanc	obscurité	PREMIER ORDRE
$\frac{1}{4}\lambda$	↗	↗	↗	blanc - brunâtre	gris-bleu	
$\frac{1}{2}\lambda$	↘	maxim.	↗	violet sombre	jaune clair	
$\frac{3}{4}\lambda$	↗	↘	↘	bleu verdâtre	orangé	
λ	↗	0	↘	jaune	violet TS	1ère TS
$\frac{5}{4}\lambda$	↘	↗	↘	rouge	vert	DEUXIEME ORDRE
$\frac{3}{2}\lambda$	↗	maxim.	↗	violet	jaune clair	
$\frac{7}{4}\lambda$	maxim.	↘	↗	bleu	orangé	
2λ	↘	0	↘	jaune	violet TS	2ème TS
$\frac{9}{4}\lambda$	↗	↗	↘	rouge	vert bleu	TROISIEME OPDRE
$\frac{5}{2}\lambda$	↘	maxim.	↗	bleu-vert	rouge rose	
$\frac{11}{4}\lambda$	↗	↘	↗	vert-jaune	gris-violet	
3λ	↗	0	↗	carmin	vert bleu	3ème TS
						ORDRE SUPERIEUR

Fig. 19– Variation des trois couleurs fondamentales (bleu, jaune et rouge) et les teintes observées entre polariseur et analyseur croisés et parallèles.

Pour comprendre le phénomène, on examine les 3 couleurs fondamentales de la lumière blanche: Bleu (λ_B = 0,486µ), Jaune (λ_J = 0,551µ) et Rouge (λ_R = 0,628µ) (Fig. 19).

L'observateur ne voit que l'intensité de la lumière, donc $\mathbf{I = I_0 \sin^2 2\alpha . \sin^2 \rho/2}$. Etant donné que α est fixe on aura donc $\mathbf{I = Cste.[\sin^2 \pi/\lambda].(n'_g - n'_p)e}$.

L'intensité observée sera la résultante de

$$\mathbf{I_B\ [= [\sin^2 \pi/\lambda_B].\delta] + I_J\ [= [\sin^2 \pi/\lambda_J].\delta] + I_R\ [= [\sin^2 \pi/\lambda_R].\delta]}$$

b- Echelle des teintes de NEWTON

En se basant sur ce principe, Michel-Lévy et Lacroix ont construit un abaque qui permet de déterminer soit la biréfringence soit l'épaisseur du minéral : c'est l'échelle des teintes de Newton (Fig. 20).

- Dans le **1er ordre** : les radiations sont pratiquement en même temps à leur maximum, .la teinte résultante va donc être proche du ***blanc***.
- Dans le **2ème et le 3ème ordre** : les radiations s'écartent de plus en plus les unes des autres; Lorsqu'une est à son maximum, les autres sont proches du minimum, ***les teintes sont nettes et lumineuses.***
- A partir du **4ème ordre** : les proportions des radiations éteintes sont de plus en plus faible; donc les autres radiations sont de plus en plus à leur maximum, la teinte évolue de plus en plus vers le blanc; ***c'est le blanc d'ordre supérieur***.

REMARQUE

Quand la radiation jaune est éteinte, c'est le violet qui est transmis (J + R + B = blanc, si on enlève le J il reste R + B = violet). ***Le violet*** est appelé ***"teinte sensible = TS"*** car un très faible retrait le ramène au rouge, et un très faible enfoncement le change en bleu; teintes très différentes pour l'œil humain.

III - CARACTERES OPTIQUES DES MINERAUX EN LP

1- Extinction

Au cours de la rotation complète de la platine, donc de la lame cristalline, deux cas peuvent se présenter:

- ***une extinction totale***, donc le milieu est
  - * opaque ex: les métaux
  - * transparent et isotrope ex: tous les minéraux cubiques ou amorphes
  - * transparent et anisotrope; c'est seulement la ou les sections cycliques de l'ellipsoïde des indices. Elle(s) se comporte(ent) comme un minéral isotrope.

- ***4 positions d'extinction*** : ce sont les milieux anisotropes. La figure 21 permet de comprendre le phénomène.

Donc on obtient une extinction, chaque fois que les directions de vibrations du minéral (n'_g et n'_p) soient parallèles à celles des polaroïds. L'éclairement maximal se trouve à 45° de Pol et An.

a- Angle d'extinction α

L'angle d'extinction est un moyen simple pour déterminer les espèces minérales. C'est ***l'angle entre le repère géométrique*** (allongement, clivage, macle) *et* ***la position d'extinction***.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

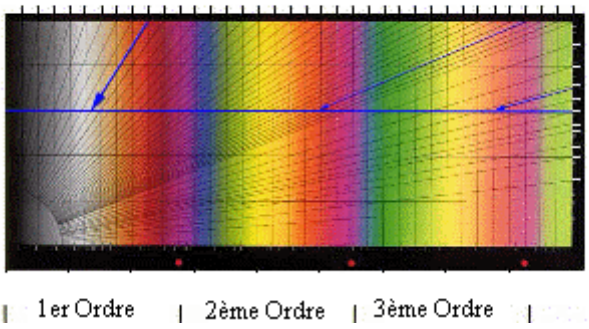
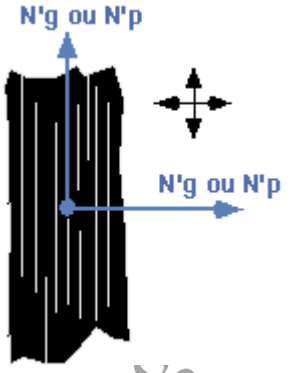


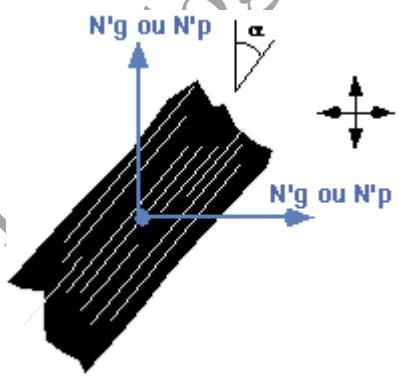
Fig. 20– Echelle des teintes de Newton.

- pour les minéraux *quadratiques, hexagonal, rhomboédrique* (les uniaxes) et *orthorhombique* (biaxe) dont l'EI est bien situé par rapport aux axes de symétrie n_g et n_p de l'EI coïncident généralement avec les caractéristiques géométriques principales (allongement, clivage etc...) ⇒ ***extinction droite*** parallèlement à l'allongement ou perpendiculairement à la trace des clivages.



- les minéraux ***monocliniques*** ont en général ***une extinction oblique*** à l'allongement, sauf dans certains minéraux qui présentent des sections particulières:

  * orthose: le plan (010) contient 2 des indices principaux ⇒ extinction droite sur la trace des plans (010).
  * micas (001) est le plan de clivage et l'extinction est droite sur ces clivages.



- les minéraux tricliniques ont un EI à position quelconque et variable avec chaque espèce et chaque composition dans un même espèce. Les extinctions droites peuvent se produire, mais elles sont rares. En général l'extinction est oblique.

M. FST

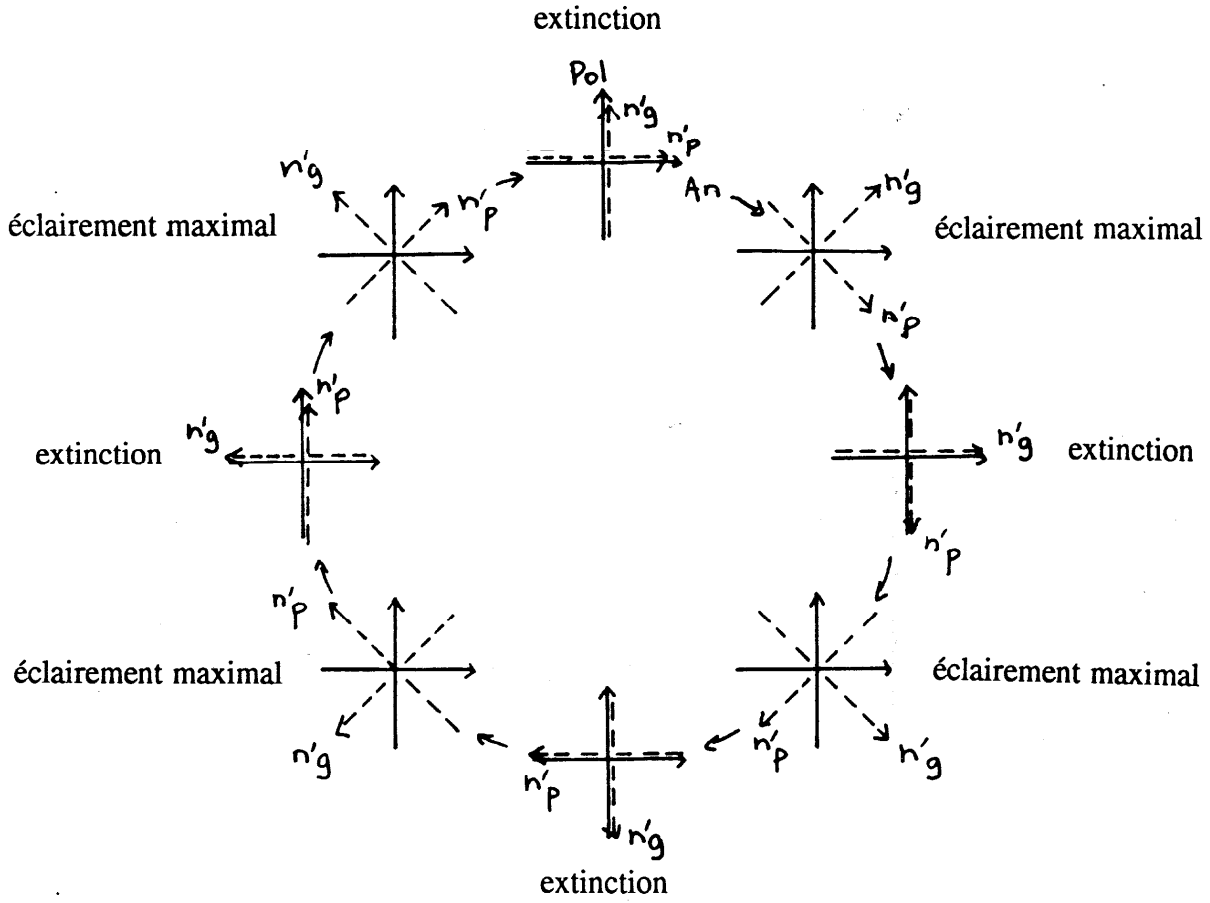


Fig.21- Les 4 positions d'extinction et les 4 positions d'éclairement maximal au cours de la rotation de la platine.

b- Mesure de l'angle d 'extinction

- choisir une section avec un repère géométrique net;
- l'amener suivant la direction N-S;
  ***** section éteinte $\alpha = 0$
  ***** section éclairée. Tourner la platine jusqu'à l'extinction de la section et lire α sur la platine.

REMARQUE

Par convention α est toujours < 45°. Si l'on trouve α > 45° à droite de N-S, il faut le déterminer à gauche.

- α varie selon l'orientation de la section par rapport à l'EI. Faire plusieurs mesures et on ne retiendra que la valeur maximale.

2- Allongement et son signe = détermination des directions principales de vibrations du minéral n'g et n'p

- si la direction de l'allongement du cristal et celle de l'ellipsoïde est < 45° $\Rightarrow$ A^+, donc la direction de l'allongement correspond à $n'_g < n_g$ (Fig. 22);

- si cet angle est > 45° $\Rightarrow$ A^-, donc $n'_p < n_p$

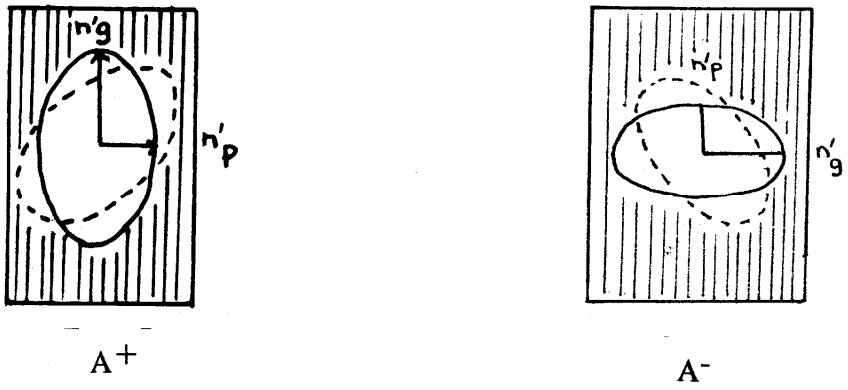


Fig. 22 - Disposition de l'EI par rapport à l'allongement du cristal.

Pour déterminer si l'on est en présence de n'_g ou n'_p on utilise des lames auxiliaires.

a- Lames auxiliaires

Les lames couramment utilisées sont celle du mica et du gypse. Elles ont été coupées de telle façon qu'elles aient les propriétés essentielles suivantes:

- une teinte bien définie en LP: mica $\Rightarrow$ gris moyen
  gypse $\Rightarrow$ violet TS

M. FST-Géologie
DARRAGI

- la direction Ng est bien connue. Sur les montures, la flèche positionne Ng perpendiculairement à l'allongement de la lame auxiliaire et qui se trouve à 45° des directions de Pol et An, lorsqu'on introduit la lame dans sa loge.

- elles font subir aux vibrations lumineuses un retard bien déterminé pour le jaune moyen; **mica $\Rightarrow$ $\lambda/4$ et gypse $\Rightarrow$ λ.**

b- Utilisation des lames auxiliaires

- On amène la section à l'une des positions d'éclairement maximum

* Si la teinte de polarisation du minéral est entre ***le noir et le gris du 1er ordre***, on utilise la ***lame de gypse = TS = onde***. Et c'est ***la teinte de la lame auxiliaire qu'il faut suivre***;

* Si la teinte de polarisation du minéral est ***vive du jaune du 1er ordre $\Rightarrow$ fin 3ème ordre***, on utilise ***le mica = quart d'onde***. Et c'est ***la teinte du minéral qu'il faut suivre***.

- Si ***la teinte monte*** dans l'échelle de Newton donc N_g de la lame auxiliaire est parallèle à n'_g de la lame cristalline $\Rightarrow$ A^+ (Fig. 23);

- Si ***la teinte vire vers la gauche*** dans l'échelle de Newton, N_g est superposé à n'_p de la lame cristalline $\Rightarrow$ A^- (Fig. 23).

3- Teinte de polarisation = Biréfringence et sa mesure

La teinte de polarisation ou biréfringence est la teinte résultante d'une section minérale observée en LP. Elle peut être déterminée avec approximation au moyen de l'échelle de Newton si l'épaisseur est connue.

En pratique, les lames minces sont ramenées à une épaisseur de 0,03mm correspondant à la biréfringence de quartz dans les gris du 1er ordre.

La biréfringence du minéral varie suivant la section:
- elle est nulle pour les sections cycliques [(n_p -n_p) pour les uniaxes et (n_m - n_m) pour les biaxes];
- elle est maximale pour les sections (n_g -n_p)

Donc le minéral prendra toutes les teintes entre le noir (δ = 0) et la teinte maximale correspondant à ($\Delta n = n_g - n_p$) qui est située la plus à droite de l'échelle de Newton = c'est la teinte de polarisation caractéristique d'un minéral.

a- Mesure de la biréfringence "Δn"

- observer plusieurs sections d'un même minéral et déduire la teinte maximale;
- projeter verticalement la teinte sur l'horizontale 0,003mm de la figure 20;
- suivre le rayon oblique et déduire δ ou Δn.

b- Mesure de l'épaisseur "e"

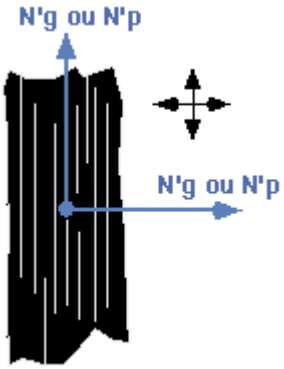
- déterminer la teinte de polarisation d'un minéral connu;
- connaissant (n_g -n_p);
- déterminer e :

ex: gypse TS a un $\Delta n = 0,01$ $\Rightarrow$ e = 0,06 mm

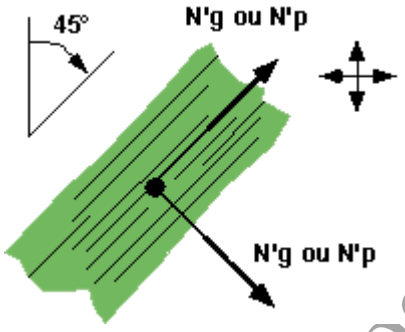
mica $\lambda/4$ a un $\Delta n = 0,035 - 0,042$ $\Rightarrow$ e = 0,005 mm.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

① Placer le minéral dans une position d'éclairement maximal

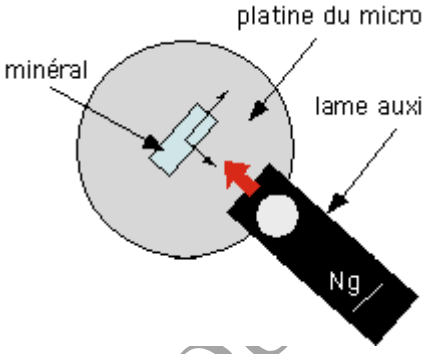


Le minéral est en position d'extinction (notez l'extinction droite)

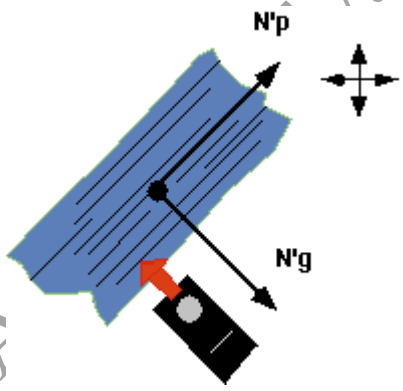


Après une rotation de 45°, le minéral est en position d'éclairement maximal

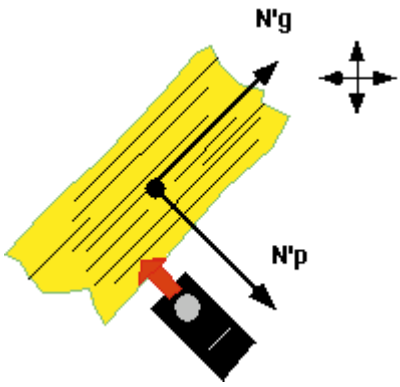
② Introduire la lame auxiliaire (onde [dit aussi teinte sensible], pour les minéraux peu réfringents; quart d'onde pour les minéraux assez biréfringents)



③ Observer si on "monte" dans l'échelle des teintes ou si on "baisse"



Si la teinte monte (on passe du vert au jaune, dans notre cas; voir l'échelle des teintes de Newton) : N'g de la lame auxiliaire est superposé à N'g du minéral (**allongement positif**) ⇒ $\mathbf{A^+}$



Si la teinte descend (on passe du vert au bleu, dans notre cas; voir l'échelle des teintes de Newton) : N'g de la lame auxiliaire est superposé à N'p du minéral (**allongement négatif**)) ⇒ $\mathbf{A^-}$

Fig. 23 – Détermination du signe d'allongement d'une section minérale.

DA JAO FST-Géologie

IV - ETUDE DES PLAGIOCLASES

Les plagioclases sont des constituants essentiels de la plupart des roches cristallines. Ce sont des minéraux silicatés appartenant à la classe des tectosilicates, famille des feldspaths.

Ils constituent, dans un très vaste domaine de T°, une solution solide continue dont la composition varie depuis le terme sodique (albite) au terme calcique (anorthite). Pour des raisons de commodités d'expression, des coupures ont été faites et recensées sous les noms suivants:

Albite	0 - 10%	Anorthite (An.)
Oligoclase	10 - 30%	
Andésine	30 - 50%	
Labrador	50 - 70%	
Bytownite	70 - 90%	
Anorthite	90 - 100%	

Les propriétés des plagioclases vont évoluer d'une façon continue en fonction de leur composition. Essentiellement, la position et la forme de l'ellipsoïde qui sont modifiées progressivement en fonction de la teneur en anorthite. Pour la détermination optique de la composition des plagioclases, plusieurs méthodes ont été proposées et on va utiliser celle de Michel-Lévy.

Les plagioclases sont caractérisés par la macle polysynthétique (ou macle d'albite) et la double macle (macle d'albite + macle d'orthose). La macle d'orthose toute seule caractérise généralement l'orthose comme le nom l'indique et aussi la sanidine.

La macle d'albite (Fig. 24a) est une reproduction d'un grand nombre de cristaux lamellaires très minces. La macle d'orthose est l'accolement de 2 grands individus minéralogiques avec la rotation de l'un des deux. Dans les plagioclases, ces individus sont déjà en macles polysynthétiques, ce qui donne en observation microscopique la figure 24b.

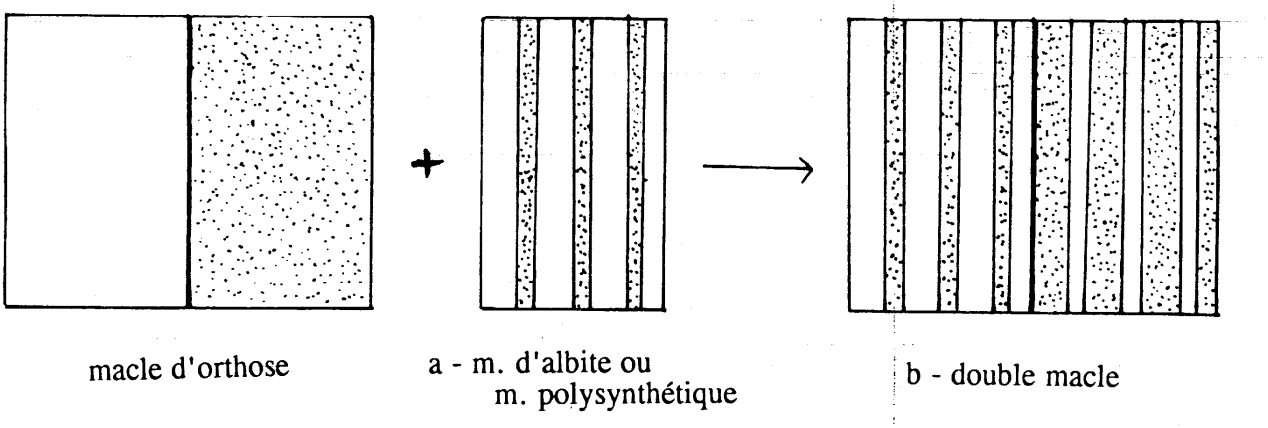


Fig. 24 – Macles des plagioclases.

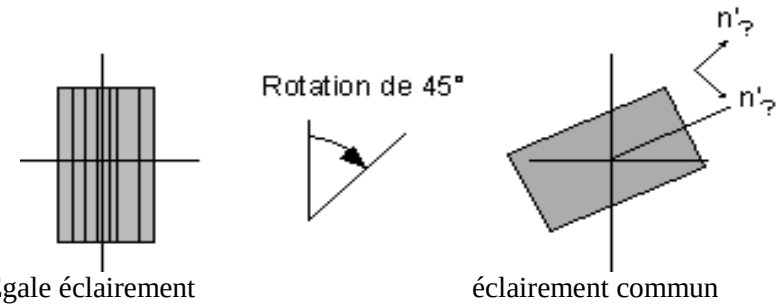


Fig. 25 – Section d'un plagioclase perpendiculaire aux plans de macle.

DARRAGI & JAOUED M.FST-Géologie

1- Choix de la section

La méthode de Michel-Lévy exige des sections avec uniquement des macles polysynthétiques. Elles doivent être perpendiculaires au plan de macle, ce qui donne (Fig. 25) :

* en position N-S à égal éclairement: le section est grise avec des traits parallèles à NS;
* à 45° du NS éclairement commun : couleur grise uniforme sans les traits parallèles.

2- Mesure de l'angle d'extinction

Les deux familles de plan (1) et (2) doivent présenter théoriquement des extinctions symétriques par rapport à NS, car au moment de la rotation de la 2ème famille de cristaux de 180°, l'ellipsoïde des indices a subi elle même la rotation.

α_1 = angle d'extinction de la 1ère famille
α_2 = angle d'extinction de la 2ème famille

$|\alpha_1 - \alpha_2| < 4°\text{-}7°$ $\qquad \alpha = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$

3- Détermination de la composition du plagioclase

Il existe une relation entre les valeurs de l'angle d'extinction et le pourcentage en anorthite. C'est l'abaque de Michel-Lévy (Fig . 26).

L'angle d'extinction doit être déterminé par rapport à n'_p. Pour vérifier cela, on doit faire les mêmes opérations que pour l'allongement. Si le minéral est A^+, α est déterminé par rapport à n'_g et c'est le complément (90° - α) qu'il faut prendre; si la section est par contre A^-, α est déterminé par rapport à n'_p et c'est cet angle qu'il faut utiliser.

Une fois α est bien déterminé, le reporter sur l'abaque et déterminer le plagioclase en fonction du relief:

* Si le minéral a un indice de réfraction inférieur à celui du Baume, on utilise la branche gauche;
* Si cet indice est supérieur à celui du Baume, c'est la branche à droite qu'il faut utiliser.

4- Mode opératoire

- chercher la section valable pour l'étude:
  * en position NS, elle présente des traits parallèles avec des bandes ayant la même teinte grise;
  * 45° du NS, la section doit avoir une teinte grise uniforme, sans les traits parallèles;
  marquer α_{NS}
- déterminer dans la position 45° l'allongement du minéral. Puisque la biréfringence est du 1er ordre on utilise la TS.
  * si le violet de la TS vire vers le rouge-orangé $\Rightarrow A^-$.
  * s'il change en bleu $\Rightarrow A^+$.
- revenir en position NS et tourner légèrement la platine vers la droite jusqu'à l'extinction de la 1ère famille; marquer α_D ; calculer ensuite l'angle d'extinction $\alpha_1 = \alpha_{NS} - \alpha_D$
- revenir en position NS et tourner cette fois-ci la platine vers la gauche jusqu'à l'extinction de la 2ème famille; marquer α_G ; calculer l'angle d'extinction $\alpha_2 = \alpha_{NS} - \alpha_G$

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

- vérifier $|\alpha_1 - \alpha_2| < 4°\text{-}7°$

- si l'angle moyen est entre 0° et 12°, le plagioclase est ***un oligoclase****;*

- si cet angle est entre 12° et 19°, le plagioclase est soit un ***albite*** soit un ***andésine***. Pour trancher, on doit utiliser la méthode de la frange de Becke (voir la 1ère séance). On considère que par principe, toutes les sections de la même lame mince ont la même composition chimique. Ainsi on doit procéder de la façon suivante:

  * chercher une section qui doit être en contact avec le Baume et mettre la limite à la croisée des fils de réticule;
  * passer en LN
  * abaisser le condenseur au maximum pour augmenter le relief;
  * déterminer dans quel sens il faut tourner les vis pour diminuer la distance objectif-platine;
  * changer l'objectif tout en centrant la limite minéral-Baume jusqu'au plus fort grossissement. Faire la mise au point;
  * tourner les vis micrométriques dans les sens de la diminution de la distance objectif-platine;

    + si on a l'impression que la section du minéral augmente de surface, c'est que la frange de Becke se dirige du minéral vers le baume donc $n_{minéral} > n_{baume} \Rightarrow$ le plagioclase est *un* ***andésine***
    + si cette section semble diminuer de surface, la frange se dirige vers le minéral et $n_{minéral} < n_{baume} \Rightarrow$ le plagioclase est ***un albite****;*

- Si l'angle d'extinction est supérieur à 19°, on utilise la branche droite de la courbe. Pour cela la valeur a est reportée sur l'axe des ordonnées, à partir duquel est menée une horizontale jusqu'à l'intersection avec la courbe. Ensuite on abaisse une verticale jusqu'à l'axe des abscisses pour déterminer la composition chimique du plagioclase.

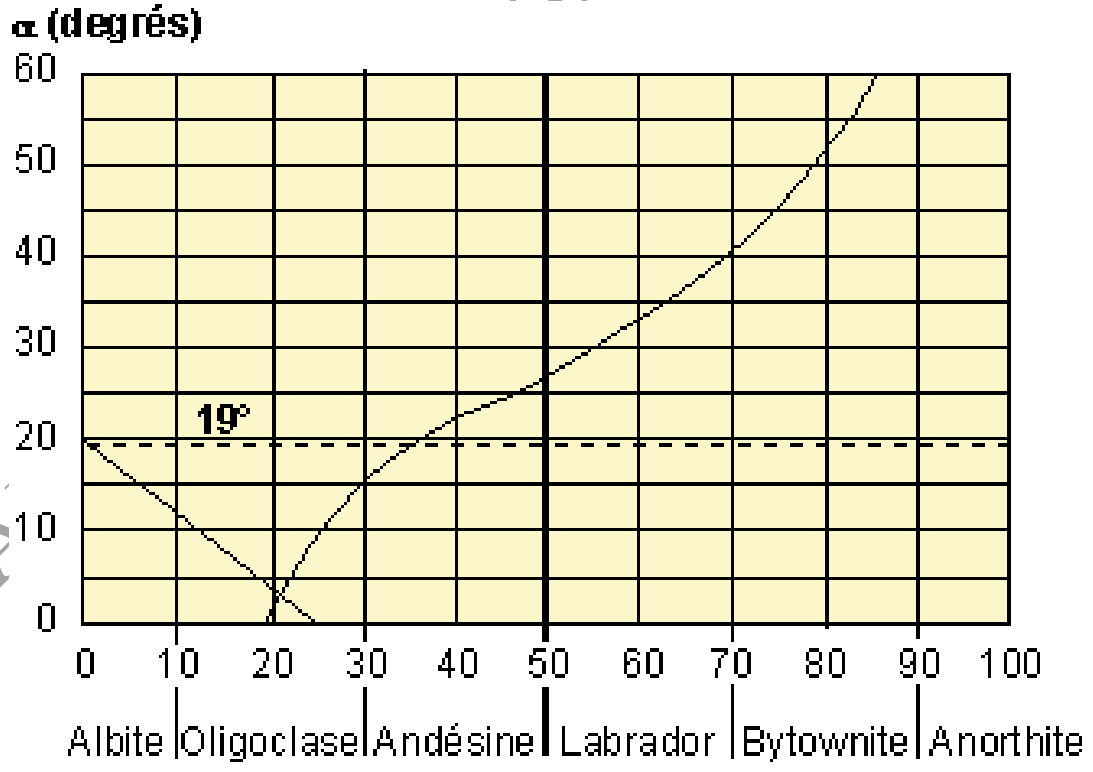


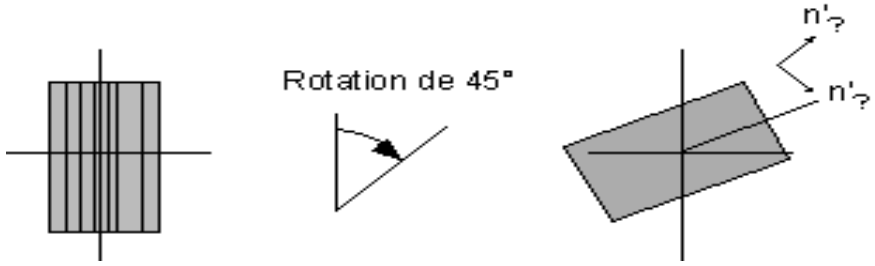
Fig. 26 – Abaque de Michel-Lévy pour la détermination de la composition chimique des plagioclases.

DARRAGI & JAOUED M. FST Géologie

5- Exemple d'application

a- Choix de la section

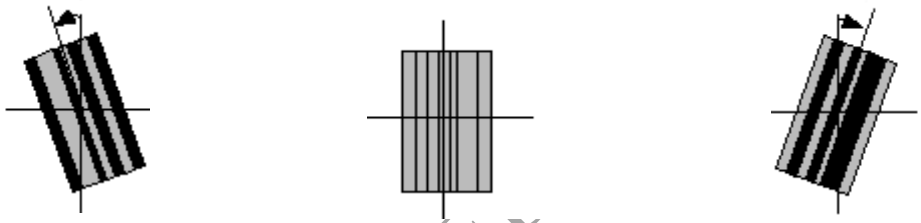
$\alpha_{NS} = 250°$ $\alpha_{45°} = 295°$



traits // et teinte grise homogène traits absents et teinte grise homogène

b- Détermination de l'angle d'extinction α

$\alpha_G = 220°$ $\alpha_{NS} = 250°$ $\alpha_D = 283°$



$\alpha_1 = |\alpha_{NS} - \alpha_G|$
$= 250° - 220° = 30°$

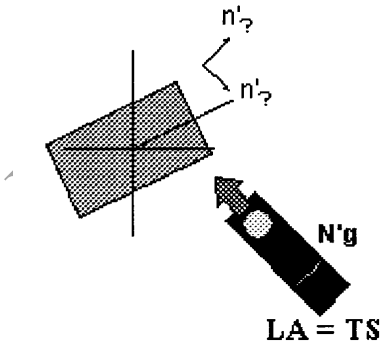
$\alpha_2 = |\alpha_D - \alpha_{NS}|$
$= 283° - 250° = 33°$

vérification : $|\alpha_1 - \alpha_2| = 33° - 30° = 3° < 4°$ à 7°

Donc **$\alpha = |\alpha_1 + \alpha_2| / 2 = 31°,5$ = angle d'extinction**

c- Détermination de l'allongement et de la composition chimique

$\alpha_D + 45° = 283° + 45°$



* Si le violet de la lame auxiliaire ⇒ ***rouge*** ⇒ n'_p du minéral // Ng de la lame auxiliaire ⇒ $\mathbf{A^-}$ ⇒ $\alpha = 31,5°$ ⇒ ***Andésine***

* Si le violet de la lame auxiliaire ⇒ ***Bleu*** ⇒ n'_g du minéral // Ng de la lame auxiliaire ⇒ $\mathbf{A^+}$ ⇒ $\alpha = 90° - 31,5° = 58°,5$ ⇒ ***Bytownite***

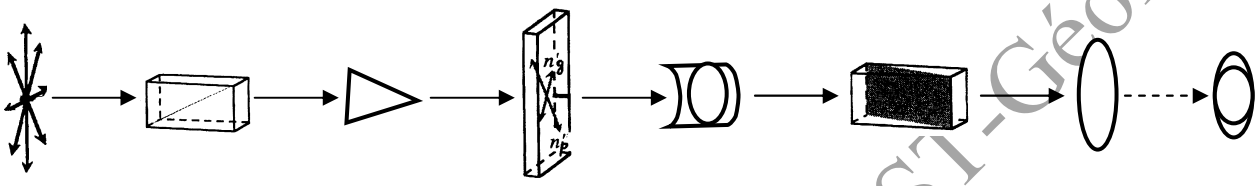
AGLE/JAOUED FST-Géologie

OBSERVATION DES MINERAUX TRANSPARENTS EN LUMIERE POLARISEE, ANALYSEE ET CONVERGENTE

I - INTERET

L'observation en lumière convergente permet de déterminer le type d'EI (uniaxe ou biaxe); son signe optique(+ ou -) et la taille de la section (perpendiculaire, parallèle ou oblique par rapport à l'AO).

II - MANIPULATION

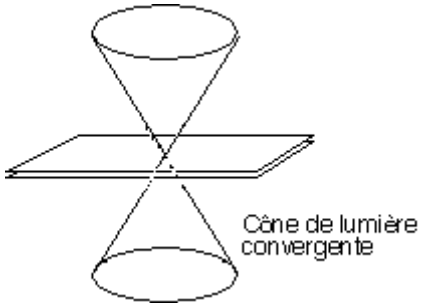


Source lumineuse | Polariseur | Condenseur | Lame mince | Objectif à fort grossissement | Analyseur | Lentille de Bertrand | Oculaire

Au microscope polarisant classique, on ajoute un condenseur et une lentille de Bertrand;

- le condenseur transforme le faisceau parallèle en faisceau convergent dirigé vers la lame cristalline;

- la lentille de Bertrand, associée à l'oculaire transforme la partie supérieure du microscope en véritable microscope secondaire.

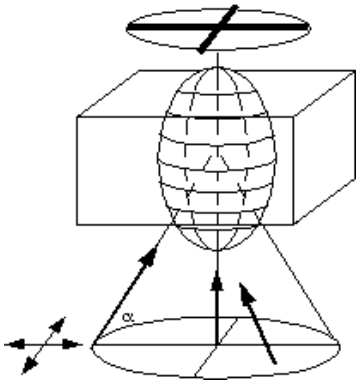


Remarque : *L'observation en lumière convergente doit se faire avec un <u>fort grossissement</u> et un <u>microscope bien centré</u>.*

III - IMAGES OBSERVEES

1- Minéraux uniaxes

L'EI est un ellipsoïde de révolution ayant un seul AO**.** La convergence du faisceau entraîne l'apparition d'une croix noire et des cercles isochromatiques d'autant plus denses que la biréfringence est lus élevée.



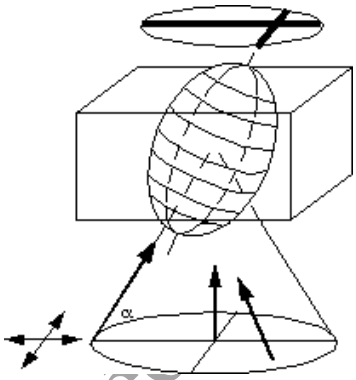
a- La croix noire est centrée

Au cours de la rotation de la platine, la croix se déplace très peu ou reste immobile ⇒ la section est taillée perpendiculairement à l'AO (Fig. 27).

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

Remarque : *Cette section se comporte comme un minéral isotrope en LP, donc elle cyclique.*

b- La croix est décentrée



Au cours de la rotation de la platine, on ne voit qu'une branche qui est soit verticale soit horizontale ⇒ la section est taillée obliquement par rapport à l'AO (Fig. 27).

2- Minéraux biaxes

L'EI est caractérisé par deux AO. L'observation en LC fait apparaître des branches d'hyperboles noires et des lignés isochromatiques en forme de lemniscates. Au cours de la rotation de la platine,
deux cas peuvent se présenter:

a- deux branches d'hyperbole

Au cours de la rotation de la platine les branches se rapprochent pour former une croix, puis s'éloignent au maximum quand le plan des AO se trouvent à 45° du Pol et An. Cette rotation s'accompagne par un changement des branches de quadrant. Cette section est taillée perpendiculairement à la bissectrice des AO et l'angle 2V entre les AO est grand, ex : la muscovite. Si 2V est faible, les deux branches d'hyperboles s'éloignent très peu et on observe "une fausse croix noire" (Fig. 28).

b- une seule branche d'hyperbole

La branche tourne dans le sens inverse de la rotation du cristal ⇒ la section est taillée perpendiculairement à un AO (Fig. 28).

Remarque : *La section se comporte comme un minéral isotrope en LP.*

3- Signe optique

Pour déterminer le signe optique d'une section cristalline, on utilise des lames auxiliaires. Le "gypse TS" et le" mica quart d'onde" sont les lames les plus employées.

- Si le minéral est ***de faible biréfringence*** ⇒ ***TS***. Des tons froids ***(bleu à bleu-vert)*** apparaissent dans les quadrants ***NE-SW***, alors que les tons complémentaires chauds ***(rouge à rouge-orangé)*** dans les quadrants ***NW-SE***. On dit que le minéral est soit $\boldsymbol{U}^+$ (croix ou une partie de la croix) soit $\boldsymbol{B}^+$ (2 branches d'hyperboles ou une qui change de quadrant au cours de la rotation de la platine). Pour $\boldsymbol{U}^-$ et $\boldsymbol{B}^-$, les tons froids se placent par contre dans les quadrants NW-SE alors que les tons chauds dans les autres quadrants.

- Si le minéral a ***une forte biréfringence*** ⇒ ***mica***. Dans ce cas des points noirs apparaissent. Pour les uniaxes, ***ces points décrivent un signe + avec Ng de la lame auxiliaire quand il s'agit de*** $\boldsymbol{U}^+$ et vice-versa. Pour les biaxes, les points se placent à ***l'extérieur*** des branches d'hyperboles quand c'est $\boldsymbol{B}^+$ et à ***l'intérieur*** pour $\boldsymbol{B}^-$.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Ge

4- *Mode opératoire*

- centrer le microscope tout en changeant d'objectifs, en passant de plus faible au plus fort grossissement;
- chercher une section en LP avec le moyen grossissement. Cette section doit être nette, sans altération ni plans de clivage;
- passer au plus fort grossissement et mettre la lentille de Bertrand qui se trouve au dessus de l'analyseur. Le champ d'observation se trouve réduite et l'image est déformée;
- localiser la section à étudier et la centrer tout en déplaçant la lame légèrement;
- détruire la mise au point en tournant légèrement les vis. La section s'agrandit et on ne voit plus ses limites;
- observer la figure obtenue et déterminer le type d'EI, son signe et la taille de la coupe.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

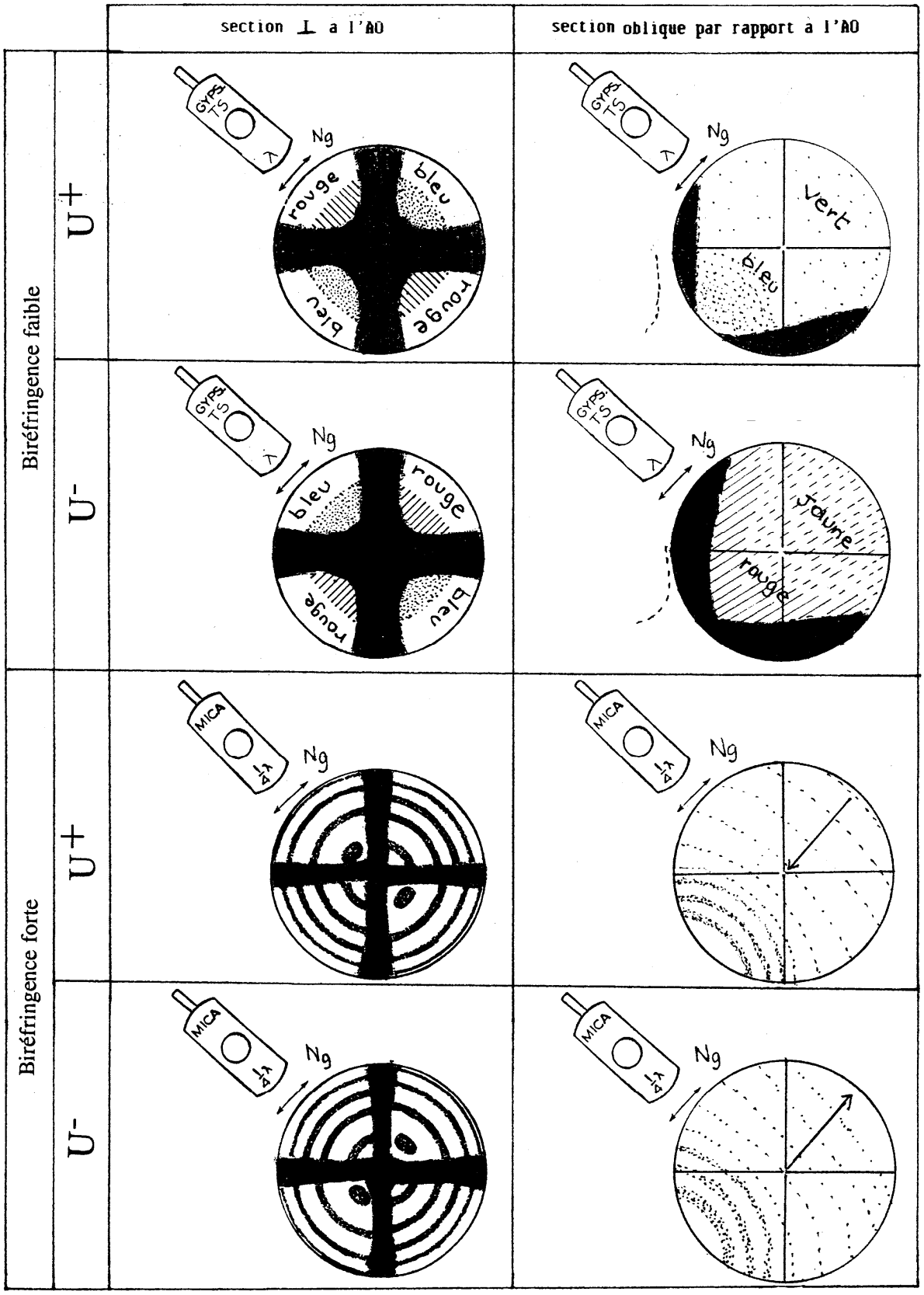


Fig. 27 – Détermination des signes optiques des uniaxes.

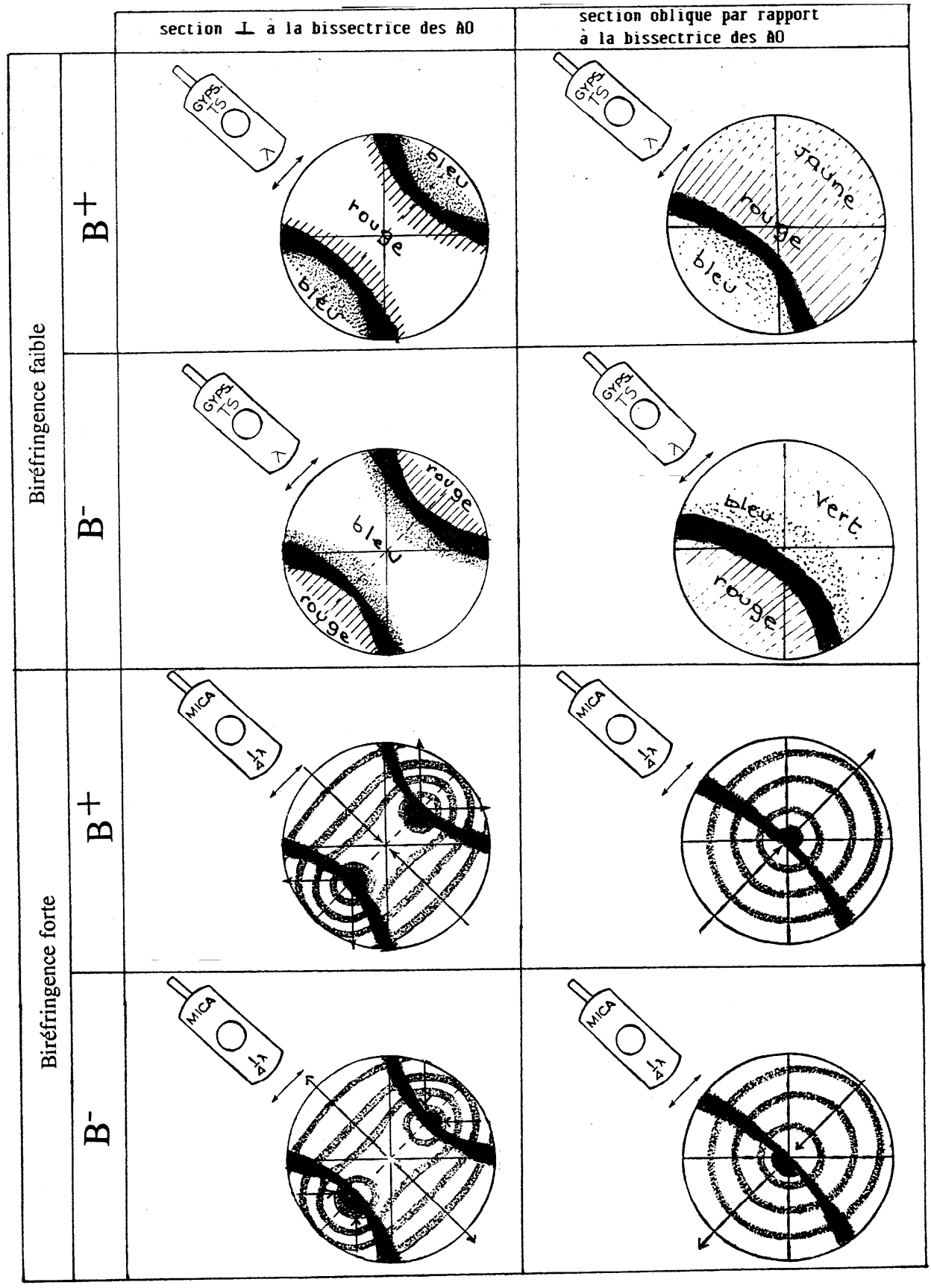


Fig. 28 – Détermination des signes optiques des biaxes.

RESUME DES PRINCIPAUX CARACTERES OPTIQUES DES MINERAUX TRANSPARENTS OBSERVES AU MICROSCOPE POLARISANT

I- LUMIERE POLARISEE NON ANALYSEE = "LUMIERE NATURELLE" = LN

C'est l'observation avec ***un seul nicol***

- ***Réfringence*** = *Appréciation du relief (faible, moyen ou fort)*
- ***Clivage*** = *Nombre et orientation*
- ***Couleur*** = *Incolore ou coloré (préciser la couleur)*
- ***Pléochroïsme*** = *Absent, faible ou net*
- ***Forme*** = *Xénomorphe ou automorphe*
- ***Inclusions*** = *type et leur localisation*
- ***Cassure*** =

II- LUMIERE POLARISEE ET ANALYSEE = "LUMIERE POLARISEE" = LP

C'est l'observation avec ***deux nicols***

- ***Teinte de polarisation*** = ordre de la teinte (1^{er}, 2^{eme}, 3^{eme} ou supérieur)
- ***Biréfringence*** = voir la teinte la plus à droite de l'échelle de Newton $\Rightarrow$ valeur
- ***de la biréfringence Δn*** = $n'_g - n'_p$ pour une épaisseur e = 0,02-0,03 mm
- ***Macle*** =
- ***Extinction*** = angle α
- ***Allongement*** = détermination de la direction de n'_p et n'_g

III- LUMIERE POLARISEE, ANALYSEE ET CONVERGENTE = "LUMIERE CONVERGENTE"

C'est l'observation avec ***deux nicols croisés + condenseur + lentille de Bertrand*** sur des sections dépourvues de plans de clivages, de macles, de cassures ou d'altération, donc des sections limpides et propres.

- Type d'ellipsoïde des indices (U ou B)
- Signe optique (+ ou -)
- Type de la coupe [parallèle, perpendiculaire ou oblique par rapport à l'AO (pour les U) ou bien par rapport à la bissectrice des deux AO (pour les B)].

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

EXEMPLE D'ETUDE D'UN MINERAL TRANSPARENT AU MICROSCOPE POLARISANT

LN =

- relief : limite plus ou moins net ⇒ relief moyen

- couleur : incolore et limpide

- pléochroïsme : c'est un minéral incolore donc pas de pléochroïsme

- clivage : incolore et présence de traits parallèles et fins. Je déplace la lame et je regarde d'autres sections du même minéral et je trouve toujours des traits fins et parallèles ⇒ un seul plan de clivage

- forme : xénomorphe à automorphe

- inclusions : absentes

LP =

- teinte de polarisation : je tourne la platine, la section passe par des positions d'éclairement maximal et des positions d'extinction. Je la mets dans la position d'éclairement maximal et regarde la teinte. Elle est bleu vert nette. Je regarde d'autres sections, les teintes sont de vert jaune à jaune orangée. Elles sont vives du 2ème ordre.

- biréfringence : c'est la différence entre les indices principaux n'_p et n'_g du minéral Δn. C'est cette différence qui se matéria1ise par la précédente teinte observée au microscope. Je prends la teinte μ maximale, c'est-à-dire la plus à droite du tableau de Newton (jaune orangé dans ce cas). Je faits descendre cette teinte verticalement jusqu'à l'horizontale 0,03 mm et je remonte le rayon oblique d'intersection pour trouver la valeur de la biréfringence $\Delta n = 0{,}033 - 0{,}035$.

- macle : absent

- extinction : je mets les plans de clivage en position verticale parallèlement au fil de réticule. La section est éteinte ⇒ $\alpha = 0$.

- allongement : je mets la section au maximum d'éclairement vers la droite (je choisis celle qui a la teinte la plus nette). Etant donné que la biréfringence du minéral est forte du 2ème ordre, j'utilise la lame auxiliaire $\lambda/4$ et je suis l'évolution de la teinte du minéral, le bleu vert passe au jaune orangé ⇒ la teinte du minéral a monté dans l'échelle de Newton ⇒ n'_g du minéral est parallèle à N_g de la lame auxiliaire.

LC =
- présence de plans de clivage ⇒ il est difficile de faire l'étude.

CONCLUSION = il s'agit de la muscovite.

DARRAGI F. JAOUED M. FST-Géologie

EXEMPLE D'ETUDE D'UN PLAGIOCLASE

LN =

- relief : les limites des sections sont peu visibles ⇒ relief faible

- clivage : parfois les plans de clivages sont visibles, suborthogonaux

- couleur : incolore, parfois faussée par l'altération propre du minéral

- pléochroïsme : nul

LP =

- teinte de polarisation : lorsqu'on regarde plusieurs sections et en tournant la platine, la teinte varie entre le gris à blanc du 1er ordre.

- biréfringence : la teinte maximale est le blanc, donc $\Delta n = 0{,}007$ à $0{,}013$.

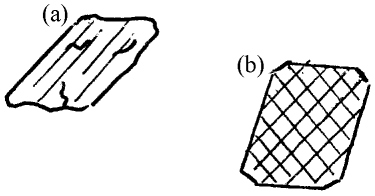
- macle : macle polysynthétique fréquente et présence de la double macle (faire le schéma de ces deux types de macles).

- extinction : l'angle d'extinction des plagioclases permet de déterminer la composition chimique suivant la méthode de Michel-Lévy.

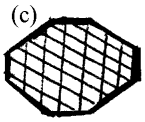
DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES MINERAUX LES PLUS FREQUENTS OBSERVES EN LAME MINCE

1- <u>Les Micas</u>: paillettes avec 1 clivage fin, $\alpha = 0$.
<u>Biotite</u>: LN: brune, muscovite: incolore.
<u>Chlorite</u>: verte, TP faible: gris 1er ordre.
<u>Biotite et muscovite</u>: TP vive du 2ème ordre.

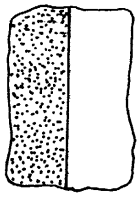


2- <u>Les Pyroxènes</u>: LN : Incolores
- Section allongée à 1 clivage (a)
- Section basale: 2 clivages orthogonaux (à 87°) (b).



3- <u>Amphiboles</u>: LN : Verdâtres, 2 plans de clivage à 124° (c).
4- <u>Olivine</u>: incolore, relief fort, craquelée; TP élevée, teinte vive du 2ème et 3ème ordre.
5- <u>Grenat</u>: LN: incolore, relief fort, craquelée; TP nulle: isotrope: système cubique.
6- <u>Tectosilicates</u>: quartz, feldspaths alcalins et plagioclases: Incolores, relief faible, TP gris à blanc du 1er ordre.

a- <u>Quartz</u>: n'a pas de clivage, limpide.
b- <u>Feldspaths alcalins</u>: ont des clivages, peuvent être de teinte trouble en LN et peuvent présenter des macles, Ex.: **Orthose** : macle de Carlsbad; **Microcline** : macle polysynthétique entrecroisé.
c- <u>Plagioclases</u>: ont des clivages, présentent la macle de l'albite ou polysynthétique.



orthose

microcline

plagioclases

Observation en lumière naturelle

a- Structures. **b**- Couleurs et pléochroïsmes.
c- Clivages, altération, inclusions. **d**- Appréciation de l'indice.

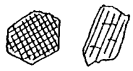
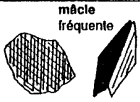
Observation en lumière polarisée

a- Appréciation de la biréfringence sur plusieurs sections du même minéral. Macles.
b- Mesure de l'angle d'extinction sur plusieurs sections.
c- Détermination du signe de l'allongement.
d- Détermination de l'ellipsoïde et de son signe.

Conventions utilisées

- ***L. N.:*** Lumière naturelle - (Polarisée).
- ***L. P.:*** Lumière polarisée - (Polarisée et analysée - Nicols croisés).
- ***Couleurs*** - en lumière naturelle.
- ***Teintes*** - en lumière polarisée.
- α = angle d'extinction.

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géo

MINERAL	FORME LA PLUS FREQUENTE	LUMIERE «NATURELLE»	LUMIERE POLARISEE	FORMULE CHIMIQUE
PYROXENE	 Clivages à 87°	très faiblement coloré : jaunâtre, verdâtre ou incolore	jaune - orangé - rouge **atténué** par sa couleur propre	**Augite** $(Ca, Fe, Mg, Al)[(Al, Si)O_3]$
AMPHIBOLE	mâcle fréquente  Clivages à 124° prismes ou baguettes	verdâtre bleuâtre brun ± foncé	bleu, vert, jaune, rouge **atténué** par sa couleur propre	**Hornblende** $Na\,Ca_2(FeMg)_4[Al_2\,Si_6\,O_{22}(OH_2)]$
GRENAT	± globuleuse, craquelée avec inclusions fréquentes	incolore fort relief (contours bien visibles)	noir	**Almandin** $Fe_3\,Al_2[SiO_4]_3$
PERIDOT	plages craquelées mimant un clivage	incolore limpide	bleu, vert, jaune, rouge : teintes vives	**Olivine** $(Fe, Mg)_2[SiO_4]$
ANDALOUSITE	automorphe xénomorphe (amiboïde) Inclusions fréquentes	incolore	noir, gris, blanc ou jaune-pâle	$Al_2\,SiO_5 = Al_2O_3, SiO_2$
SILLIMANITE	clivage unique paillettes formant souvent des gerbes	incolore limpide	gris clair à jaune ± foncé	$Al_2\,SiO_5 = Al_2O_3, SiO_2$

MINERAL	FORME LA PLUS FREQUENTE	LUMIERE «NATURELLE»	LUMIERE POLARISEE	FORMULE CHIMIQUE
CALCITE	irrégulière. Clivages fins souvent en quadrillage losangique	incolore	teintes pastel : bleu, vert, jaune, rose...	$CaCO_3$
QUARTZ	souvent irrégulière	incolore limpide relief très faible (contours non visibles)	blanc, gris ou noir	SiO_2
FELDSPATH POTASSIQUE	mâcle de Carlsbad	incolore plus ou moins trouble	blanc, gris ou noir	**Orthose** $K[Al\,Si_3\,O_8]$
FELDSPATH PLAGIOCLASE	mâcle polysynthétique	incolore plus ou moins opaque	blanc, gris ou noir	**Albite** $Na[Al\,Si_3\,O_8]$ **Amorthite** $Ca[Al_2\,Si_2\,O_8]$
BIOTITE (mica noir)	clivages fins et nets. Inclusions fréquentes de petits minéraux (zircon...)	brun foncé brun-jaune à presque incolore	bleu, vert, jaune rouge **atténué** par sa couleur propre	$K(Fe\,Mg)_2[Al\,Si_3\,O_{10}(OH)_2]$
MUSCOVITE (mica blanc)	clivages fins et nets. cristaux souvent allongés	incolore	bleu, vert, jaune, violet : teintes très vives	$K\,Al_2[Al\,Si_3\,O_{10}(OH)_2]$

DARR Géologie

		"LUMIERE NATURELLE"							"LUMIERE POLARISEE"							"LUMIERE CONVERGENTE"
		relief			nombre de plans de clivage			couleur	pléochroïsme			teintes de polarisation			biréfringence	macle	α	A	
		faible	*moyen*	*fort*	*1*	*2*	*3*		*nul*	*faible*	*net*	*1er ordre*	*2ème ordre*	*3ème ordre*	*ordre supérieur*				
Nésosilicates	olivine			X				incolore								0,035-0,048			B-
	grenat			X				incolore					isotrope						
Cyclosilicates	tourmaline		X					bleu-vert			X					0,018-0,043		0°	-	U+
Inosilicates — Pyroxènes	augite			X		à 87°		incolore à verdâtre	X	X						0,024-0,029	X	39°-47°	+	B+
	aegyrine			X		à 87°		vert foncé			X					0,048-0,060		0°-8°	-	B-
Inosilicates — Amphiboles	hornblende verte		X			à 56°		vert		X						0,014-0,026	X	15°-27°	+	B-
	glaucophane		X			à 56°		bleu-jaune		X						0,013-0,021		5°-7°	+	B-
Silicate d'alumine	sillimanite			X	X			incolore								0,020-0,023		0°	+	B+
Phyllosilicates	biotite		X		X			brune			X					0,040-0,055		0°	+	B-
	muscovite		X		X			incolore								0,035-0,055		0°	+	B-
	chlorite		X		X			verte			X					0,000-0,006		0°-3°	∓	B∓
Tectosilicates	quartz	X						incolore								0,009				U-
	orthose	X						incolore								0,005-0,013	X	3°-12°	-	B-
	microcline	X						incolore								0,007	X			B-
	sanidine	X						incolore								0,006-0,007	X	0°-9°	-	B-
	plagioclases	X						incolore								0,017-0,013	X			B-
Non-silicatés	calcite		X				X	incolore								0,170	X			U-
	dolomite			X			X	incolore								0,177	X			U-

GUIDE POUR LA DETERMINATION DES MINERAUX D'UNE ROCHE

N° de l'échantillon:
N° de la lame mince:
Provenance:

	1er minéral	2ème minéral	3ème minéral
L.N couleur relief forme clivages cassures altération inclusion			
L.P T.P biréfringence α LA utilisée teinte observée allongement Plagioclase: T.P LA utilisée α_1 = α_2 = $\alpha_1 + \alpha_2 / 2$ = teinte observée % An			
L.C figure d'axe observée L.A utilisée signe optique			
Nom du minéral			
Dessin du minéral			

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie

BIBLIOGRAPHIE

- **JUNG J. (1969)** - Précis de Pétrographie. Roches sédimentaires et éruptives. *Masson et Cie éditeurs; 332 p.*

- **KITTEL C. (1983)** – Physique de l'état solide. *Université de Californie, Berkeley, 5^{éme} Eds.; 593 p.*

- **LAMEYRE J. (1975)** - Roches et minéraux. Tome 1: Les matériaux. Tome Il: Les formations. *Dom Bd.; 351p.*

- **LARLDHI-OUAZAA N.** - Travaux pratiques et dirigés de Pétrologie Endogène pour la section "Filière Ingénieur", troisième année.

- **MORET L. (1955)** - Précis de Géologie. *Masson et Cie Eds.; 669 p.*

- **PARFENOFF A., POMEROL C. et TOURENQ J. (1970)** - Les minéraux en grains. Méthodes d'études et déterminations. *Masson et Cie Eds.; 575 p.*

- **ROUBAULT M., FABRIES J., TOURET J. et WEISBROD A. (1972)** - Déterminations des minéraux des roches au microscope polarisant. *Lamarre - Poinat Bd., 365 p.*

- **WAHLSTROM E. E. (1947)** - Igneous minerais and rocks . *John Wiley and Sons, Inc. Bd., 367 p.*

DARRAGI F./JAOUED M. FST-Géologie